



**Daniel de Jesus
Coelho**

Plano de Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga



**Daniel de Jesus
Coelho**

Plano de Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Borrego, Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação da Doutora Anabela Carvalho do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

arguente principal

Prof. Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano

Professor Adjunto do Departamento de Ambiente e Recursos Naturais do Instituto Politécnico de Bragança-Escola Superior Agrária

orientador

Prof. Doutor Carlos Alberto Diogo Soares Borrego

Professor Catedrático do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

co-orientadora

Doutora Anabela Victorino Carvalho

Técnica Superior do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Na capa, o meu nome está escrito a preto, não reflectindo a luz absorvida. Por conseguinte, considero que a cor branca seria a mais adequada. Utilizando os agradecimentos como um simples prisma, enumero algumas das cores que compõem o seu espectro:

Professor Doutor Carlos Borrego, pelo magnífico efeito bússola.
Anabela, pelas iluminadas sugestões e críticas, pelo incentivo.
Elisa, pela modelação modelo.

A loirinha, por partilhar a sua inteligência, e as fantastic four amigas da Qualidade do Ar e Emissões, pelas divertidas (e extrovertidas) conversas cruzadas e por aturarem o meu silêncio; por me fazerem andar de t-shirt o ano inteiro, por tornarem o gabinete o melhor local trabalho.

A lã e o mel, matérias-primas indispensáveis: uma pequena dose por dia desperta uma enorme alegria.

A D. Helena, pelo lanche e pelo sufixo.
As restantes pessoas que me fazem subir 1 andar para as visitar.

Os amigos ainda não referidos, pela panóplia de cores com que invadem os momentos de convívio. Os abraços devidos...

A família, que completa o arco-íris.

palavras-chave

Qualidade do ar, matéria particulada, aglomeração de Braga, medidas de melhoria, modelação numérica.

resumo

A degradação da qualidade do ar ambiente tem uma influência directa e preponderante sobre a saúde humana.

No âmbito da legislação ambiental relativa à avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, a ocorrência de ultrapassagens aos valores-limite anual e diário de PM10 na aglomeração de Braga, no período de 2005 a 2008, preceitua a necessidade de elaboração de um Plano de Qualidade do Ar para esta aglomeração, para o qual este trabalho contribui com as directrizes técnicas e científicas.

Após uma análise dos valores de concentração de PM10 obtidos nas duas estações de monitorização instaladas na aglomeração de Braga – Circular Sul e Horto, foram elencadas medidas de mitigação que visam actuar sobre as principais fontes de emissão de matéria particulada que influenciam as concentrações de PM10 registadas nestas estações.

De forma a aferir a eficácia da aplicação de medidas de mitigação das emissões de PM10, foi simulado, utilizando o modelo numérico TAPM, um cenário de redução das emissões por aplicação de um conjunto de medidas direccionadas para o sector dos transportes, indústria e comércio, bem como à combustão residencial.

Os resultados da simulação indicam que as medidas incluídas neste cenário poderão levar a uma redução da concentração média anual e máxima diária de PM10, na aglomeração de Braga, entre os 6 e os 11%, bem como à diminuição do número de excedências ao valor-limite de concentração diária.

Para a aplicação destas medidas será necessário um forte empenhamento e cooperação entre a CCDR-N e as restantes entidades responsáveis pela sua implementação, conjugando as medidas locais com as supra-municipais para uma melhoria global da qualidade do ar em Portugal.

keywords

Air quality, particulate matter, Braga Agglomeration, improvement measures, numerical modeling.

abstract

Air quality degradation has a direct and significant influence on human health. According to the environmental legislation related to the assessment and management of ambient air quality, the occurrence of exceedances of the daily and annual limit values for PM₁₀ in Braga Agglomeration settles the need to implement an Air Quality Plan. This work provides the technical and scientific guidelines for the design of the Air Quality Plan.

Following an analysis of the PM₁₀ concentrations monitored in the two air quality stations of Braga Agglomeration – Circular Sul and Horto, this work appoints a group of mitigation measures concerning the main particulate matter sources influencing the study region.

To determine the air quality improvements related to the implementation of the proposed measures, TAPM model was used to simulate an emission reduction scenario considering the application of a group of measures to different sectors namely, transports, industry and commerce, as well as residential combustion.

The simulation results indicate that the measures included in the reduction scenario may lead to a reduction in the annual and daily mean PM₁₀ concentration in Braga Agglomeration between 6 and 11%. The number of exceedances of the daily limit value for PM₁₀ can also be reduced.

A strong commitment and cooperation between CCDR-N, local entities and authorities will be needed in order to implement those measures and contribute to the improvement of local, regional and national air quality.

Índice

1.	Introdução	1
2.	Enquadramento legislativo e científico	5
2.1.	Legislação.....	5
2.2.	Matéria Particulada: conceitos base	8
2.2.1.	Fontes Naturais de PM.....	11
2.2.1.1.	Transporte de poeiras do Norte de África	12
2.2.1.2.	Aerossol Marinho	13
2.2.1.3.	Incêndios Florestais.....	13
2.2.1.4.	Outras Fontes Naturais	15
2.2.2.	Fontes Antropogénicas	15
2.3.	Modelação da qualidade do ar	17
3.	Avaliação dos níveis de Partículas em suspensão na aglomeração de Braga no período 2005-2008	23
3.1.	Caracterização dos níveis de PM10 registados na aglomeração de Braga	24
3.2.	Análise das concentrações de PM10 registadas na aglomeração de Braga	30
3.3.	População afectada	36
4.	Medidas para a redução das emissões de partículas a aplicar na aglomeração de Braga	39
4.1.	Medidas direccionadas para o sector industrial/comercial	39
4.1.1.	Entrada em vigor das Portarias que fixam VL de emissão de partículas mais restritivos, para a indústria e comércio, reforço da fiscalização e substituição dos sistemas de despoeiramento.....	39
4.1.2.	Redução das poeiras de obras de construção civil	40
4.2.	Medidas direccionadas para o sector dos transportes	41
4.2.1.	Incentivos à renovação da frota de veículos pesados de passageiros.....	42
4.2.2.	Redução das emissões de partículas nos transportes pesados de mercadorias	42
4.2.3.	Proibição parcial da circulação de veículos pesados de mercadorias.....	44
4.2.4.	Renovação das frotas de veículos de recolha de Resíduos Sólidos Urbanos	45
4.2.5.	Partilha de automóveis.....	45
4.2.6.	Vias de Alta Ocupação.....	46
4.2.7.	Melhorias na rede de transportes colectivos	48
4.2.8.	Outras medidas relacionadas com a mobilidade urbana	49
4.3.	Lavagem das ruas.....	50
4.4.	Certificação de equipamentos de combustão residencial.....	51
4.5.	Sensibilização Ambiental.....	53
5.	Modelação da Qualidade do Ar	55
5.1.	Modelo de Qualidade do Ar TAPM	55

5.2.	Modelação da qualidade do ar para a Região de Estudo	56
5.2.1.	Avaliação do modelo TAPM - componente meteorológica	57
5.2.2.	Avaliação do modelo TAPM - componente de poluição atmosférica	62
5.2.3.	Simulação do Cenário de redução.....	69
6.	Análise de Custos e Benefícios inerentes à aplicação das medidas e hierarquização das mesmas	77
7.	Considerações finais.....	83
	Referências	87

Anexos

Anexo A - Concelhos e freguesias incluídos na aglomeração de Braga - área, população e densidade populacional

Anexo B - Razões apontadas para a ultrapassagem do valor limite diário de PM10 na estação de Horto, em 2007

Anexo C - Concentrações médias anuais e ultrapassagens do valor-limite horário de concentração de PM10 nas estações da Região Norte, em 2008

Anexo D - Metodologia para identificação e avaliação de eventos naturais utilizada por Ferreira et al. (2007, 2008, 2009)

Anexo E - Metodologia para identificação e avaliação de eventos naturais de 2005 utilizada por Borrego et al. (2008)

Anexo F - Número de excedências anuais ao valor-limite diário de concentração de PM10 e a concentração média anual

Anexo G - Emissões de PM10 na Região Norte

Anexo H - Análise de custos e benefícios ambientais de políticas e medidas

Anexo I - Indicadores de qualidade relativos à aplicação do modelo TAPM à região de estudo

Anexo J - Concentrações médias de PM10 simuladas pelo modelo TAPM para o cenário base

Anexo L - Instrumentos de política comunitária e nacionais com eventual impacto nas emissões de partículas

Anexo M - Medidas de melhoria da qualidade do ar no âmbito dos Planos e Programas para a Região Norte.

Anexo N - Escala temporal, eventuais entidades responsáveis, indicadores de monitorização e outros benefícios associados às medidas para melhoria da qualidade do ar na aglomeração de Braga

Lista de tabelas

Tabela 1.1: Valores-limite e margens de tolerância das concentrações atmosféricas de PM10, para protecção da saúde humana, fixados no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro.7	
Tabela 3.1: Caracterização das estações de qualidade do ar da aglomeração de Braga.	24
Tabela 3.2: Eficiências dos analisadores de PM10 das estações da aglomeração de Braga.	25
Tabela 3.3: Raio de representatividade das estações de monitorização de qualidade do ar (adaptado de EEA, 1999).	36
Tabela 3.4: Estimativa da área e população afectadas pelas ultrapassagens ao VL de PM10 entre 2005 e 2008.	37
Tabela 5.1: Indicadores de qualidade utilizados na validação das simulações do TAPM e respectivas descrições.	57
Tabela 5.2: Indicadores de qualidade para a simulação meteorológica do TAPM.	58
Tabela 5.3: Indicadores de qualidade da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.	63
Tabela 5.4: Emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário base, e contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos (adaptado de Borrego <i>et al.</i> , 2009b).	69
Tabela 5.5: Estimativa das reduções das emissões de PM10 pela aplicação das medidas propostas no cenário de redução, por categoria SNAP e por concelho.	70
Tabela 5.6: Emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário de redução, e contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos (adaptado de Borrego <i>et al.</i> , 2009b).	70
Tabela 6.1: Custos e benefícios da implementação das medidas e as hipotéticas facilidade de implementação e aceitação social.	78

Lista de figuras

Figura 2.1: Características e perfil de distribuição de tamanhos dos aerossóis atmosféricos (Alves, 2005).	9
Figura 2.2: representação esquemática dos mecanismos de formação do aerossol atmosférico (Alves, 2005).	10
Figura 2.3: Imagem de satélite do dia 8 de Junho de 2006 (URL 1).	13
Figura 2.4: Número de incêndios florestais ocorridos em Portugal, por distrito, para os anos de 2005 a 2008 e média do decénio 1998-2007 (Adaptado de DGRF, 2006, 2007, 2008; AFN, 2009).	14
Figura 2.5: Área florestal ardida em Portugal, por distrito, para os anos de 2005 a 2008 e média do decénio 1998-2007 (Adaptado de DGRF, 2006, 2007, 2008; AFN, 2009).	15
Figura 3.1: Representação das Zonas e Aglomerações da Região Norte e localização das estações de monitorização, com destaque para a aglomeração de Braga.	23
Figura 3.2: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, nas estações de Circular Sul e Horto.	25
Figura 3.3: Concentrações médias anuais de PM10 para as estações da aglomeração de Braga e respectivo VL.	26
Figura 3.4: Envolvente da estação de Circular no final do ano de 2007.	27
Figura 3.5: Concentrações médias horárias de PM10 registadas na estação urbana de tráfego de Circular Sul, Braga, entre Maio de 2007 e Maio de 2008.	27
Figura 3.6: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, na estação de Circular Sul.	29
Figura 3.7: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, na estação de Horto.	29
Figura 3.8: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, em 2007 e 2008.	30
Figura 3.9: Perfis horários de concentração de PM10 na estação de Circular Sul, em 2007 e 2008.	31
Figura 3.10: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para as diferentes estações do ano, entre 2007 e 2008.	31
Figura 3.11: Distribuição mensal das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, entre 2007 e 2008.	32
Figura 3.12: Perfis horários de concentração de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para a Primavera (a), Verão (b), Outono (c) e Inverno (d), entre 2007 e 2008.	32
Figura 3.13: Perfis horários de concentração de PM10 nas estações de Circular Sul, Antas, Guimarães e Paredes, para a Primavera (a), Verão (b), Outono (c) e Inverno (d), entre 2007 e 2008.	34

Figura 3.14: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para os diferentes dias da semana, entre 2007 e 2008.	35
Figura 3.15: Perfis horários de concentração de PM10 na estação de Circular Sul, para os diferentes dias da semana, entre 2007 e 2008.	35
Figura 3.16: Representação da área (estimada) afectada pelas ultrapassagens aos valores-limite de concentração de PM10, face aos valores registados na estação de Circular Sul (adaptado de URL 9).....	38
Figura 3.17: Representação da área (estimada) afectada pelas ultrapassagens aos valores-limite de concentração de PM10, face aos valores registados na estação de Horto (adaptado de URL 9).....	38
Figura 4.1: Via de Alta Ocupação sinalizada com um símbolo em forma de diamante nos Estados Unidos (adaptado de URL 18).....	47
Figura 4.2: Fotografia da Avenida Frei Bartolomeu dos Mártires, Braga.....	47
Figura 4.3: Esquema de funcionamento de lareiras certificadas pela EPA, em utilização nos Estados Unidos da América (adaptado de URL 20).....	52
Figura 5.1: Comparação da temperatura média diária observada e prevista pelo TAPM, para as estações de Barcelos (a), Gondizalves (b) e Lipor (c), para o ano de 2008.	59
Figura 5.2: Comparação da velocidade do vento observada e prevista pelo TAPM, para as estações de Barcelos (a), Gondizalves (b) e Lipor (c), para o ano de 2008.	60
Figura 5.3: Rosas-dos-ventos obtidas a partir dos dados observados e previstos pelo TAPM, para as estações de Barcelos, Gondizalves e Lipor, para o ano de 2008.....	61
Figura 5.4: Localização das estações de monitorização de PM10 utilizadas na validação da componente de qualidade do ar do TAPM (domínio D3 de simulação representado a tracejado).....	63
Figura 5.5: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro BIAS por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.....	64
Figura 5.6: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro Fa2 por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.....	65
Figura 5.7: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro SHILLr por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.....	65
Figura 5.8: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro SKILLr por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.....	66

Figura 5.9: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro IOA por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.	66
Figura 5.10: Comparação entre concentrações médias diárias de PM10 observadas e previstas pelo TAPM, para as estações de Circular Sul (a) e Horto (b) para o ano de 2008.	67
Figura 5.11: Comparação entre o n.º de excedências ao VL diário de PM10 observado e o previsto pelo TAPM, para as estações de qualidade do ar seleccionadas.	68
Figura 5.12: Diferenciais de concentração média anual de PM10 entre o cenário de redução e o cenário base, em valores absolutos.	71
Figura 5.13: Diferenciais de concentração média anual de PM10 entre o cenário de redução e o cenário base, em valores relativos.	72
Figura 5.14: Diferenciais de concentração máxima horária de PM10 entre o cenário de redução e o cenário base, em valores absolutos.	72
Figura 5.15: Diferenciais de concentração máxima horária de PM10, entre o cenário de redução e o cenário base, em valores relativos.	73
Figura 5.16: Concentração média anual de PM10 observada e simulada pelo TAPM para cenário base e cenário de redução, nas estações da aglomeração de Braga.	74
Figura 5.17: Número de excedências ao VL diário de PM10 observadas e simuladas pelo TAPM para cenário base e cenário de redução, nas estações da aglomeração de Braga.	74

Abreviaturas

AEP	Associação Empresarial de Portugal
AGERE	Empresa de Águas, Efluentes e Resíduos de Braga - Empresa Municipal
AICCOPN	Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas
ANTRAM	Associação Nacional de Transportadores Públicos Rodoviários de Mercadoria
ANTROP	Associação Nacional de Transportadores Rodoviários de Pesados de Passageiros
CB	Cenário Base
CCDR-N	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte
CR	Cenário de Redução
CSIRO	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
DAE	Diâmetro Aerodinâmico Equivalente
DF	Directivas-filhas
DQ	Directiva-Quadro
EEA	Agência Europeia do Ambiente (Environmental protection Agency)
EM	Estados-Membros
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
FP	Filtros de partículas
GNR	Guarda Nacional Republicana
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P.
IPQ	Instituto Português da Qualidade
MAOTDR	Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
MOPTC	Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações
PERN	Programa de Execução da Região Norte
PM	Matéria particulada (<i>particulate matter</i>)
PMRN	Plano de Melhoria da Região Norte
PPar	Planos e Programas para melhoria da qualidade do ar

PSP	Polícia de Segurança Pública
RCM	Reunião do Conselho de Ministros
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEPNA	Serviço especial de protecção da natureza da Guarda Nacional Republicana
STCP	Sociedade de Transportes Colectivos do Porto, SA
TAPM	The Air Pollution Model
TI	Transporte Individual
TUB-EM	Transportes Urbanos de Braga - Empresa Municipal
VAO	Vias de Alta Ocupação
VL	Valor-limite
VLE	Valor-limite de Emissão

1. Introdução

A poluição atmosférica resulta da introdução de substâncias na atmosfera, nomeadamente como consequência da actividade antropogénica, alterando a sua constituição natural, podendo ter impactes na saúde humana, animal e vegetal (Seinfeld e Pandis, 1998).

A revolução industrial, iniciada no século XVIII, trouxe os problemas de poluição atmosférica para uma nova era. Em poucas décadas o consumo de energia aumentou consideravelmente e, consequentemente, as emissões atmosféricas associadas à sua produção.

Na Europa, no início dos anos 40 do século XX, os efeitos da contínua degradação da qualidade do ar, acentuados pelo crescimento exponencial do tráfego automóvel, fizeram-se sentir de forma dramática, ocorrendo episódios de poluição severa denominados por “smog” fotoquímico, resultantes da acumulação de dióxido de enxofre (SO₂) e matéria particulada (*Particulate Matter*, *PM*) em condições de fraca dispersão atmosférica e elevada humidade, que levaram à morte de centenas de pessoas.

A questão da qualidade do ar foi ganhando cada vez mais atenção política, acompanhando a crescente preocupação por parte da população e sustentada pelos sucessivos estudos epidemiológicos e toxicológicos que atestavam os efeitos adversos da poluição do ar na saúde.

As primeiras políticas comunitárias, que datam da década de 1970, centravam-se na definição e legislação de normas de qualidade do ar e de emissões. No entanto, apesar de algumas melhorias da qualidade do ar verificadas na Europa, surgiram, a nível nacional e comunitário, dificuldades no que respeita à aplicação, equidade, eficiência e eficácia ambiental das políticas, bem como ao nível da harmonização e de difusão da informação (Longhurst *et al.*, 2000).

A partir da década de 1990, a legislação em matéria de qualidade do ar deixou de assentar numa abordagem de comando e controlo para se basear numa abordagem integrada, promovendo a eficácia e eficiência ambiental das medidas e o alcance de objectivos de longo prazo para uma qualidade do ar aceitável (Kraft, 1998). As acções a desenvolver passaram a ser definidas numa perspectiva de desenvolvimento sustentável, tendo em consideração as causas principais dos problemas de qualidade do ar e a sua relação com as actividades ambientais, sociais e económicas (Kraft, 1998).

Neste contexto, em 1996, surgiu a Directiva-Quadro (DQ) da Qualidade do Ar - Directiva 96/62/CE, de 27 de Setembro, que veio possibilitar o controlo de um número alargado de poluentes, visando não só a protecção da saúde pública mas também dos ecossistemas, bem como estabelecer procedimentos para a criação de um circuito de informação (Longhurst *et al.*, 2000).

A DQ supracitada determina a obrigação legal dos Estados-Membros (EM) promoverem a melhoria da qualidade do ar, estabelecendo que deve ser elaborada uma lista das zonas e aglomerações em que os níveis de um ou mais poluentes sejam superiores ao valor-limite (VL). Nas zonas e aglomerações identificadas, os EM devem tomar medidas para garantir que seja elaborado ou aplicado um Plano ou Programa (PPar) destinado a fazer cumprir o VL dentro do prazo fixado.

Um dos poluentes para os quais a DQ estabelece valores-limite de concentração é a matéria partícula, nomeadamente as PM10 - partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra, com eficiência de corte de 50%, para um diâmetro aerodinâmico equivalente (DAE) de 10 µm. As PM10 constituem, actualmente, um dos principais problemas de poluição atmosférica, verificando-se recorrentes excedências aos valores-limite, em diversas zonas e aglomerações por toda a Europa. Entre 2001 e 2004, cerca de metade das excedências reportadas estavam associadas às PM10 (Nagl *et al.*, 2006).

Estima-se que, em 2005, 9% da população Europeia estivesse sujeita a níveis médios anuais de PM10 acima do VL (40 ug.m⁻³) e que 28% estivesse exposta a mais de 35 dias com concentrações médias de PM10 acima do VL diário (50 ug.m⁻³). A probabilidade de excedência do VL diário era elevada nos centros urbanos de países como Espanha, Portugal, Grécia, Itália, Países Balcãs, Bélgica, Holanda e Luxemburgo.

O sector residencial (principalmente a queima de biomassa), o transporte rodoviário e a produção de electricidade e calor constituem as principais fontes de emissão de PM10. A ressuspensão de poeiras nas vias de tráfego e as fontes naturais (as poeiras do Norte de África e o aerossol marinho, por exemplo) podem também contribuir significativamente para concentração de PM10 em algumas regiões europeias (EEA, 2007).

O número de mortes prematuras atribuídas à exposição às PM10, nos 27 países da União Europeia, estima-se que varie entre 510 e 1150, por milhão de habitantes, correspondendo a cerca de 373000 mortes na Europa a 25 (EEA, 2009).

Em Portugal, entre 2001 e 2004, foram registadas excedências aos valores-limite de concentração de PM10, tanto na Região de Lisboa e Vale do Tejo como na Região Norte, tendo sido elaborados Planos de Melhoria da Qualidade do Ar para estas duas regiões, aprovados, em 2008, pelas Portarias 715/2008 e 716/2008, de 6 de Agosto, respectivamente.

O Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte, aplicável às aglomerações de Porto Litoral, Vale do Ave e Vale do Sousa, serviu de base ao respectivo Programa de Execução (PERN), aprovado pelo Despacho n.º 20762/09, de 16 de Setembro, no qual foram seleccionadas e caracterizadas as medidas do Plano efectivamente a adoptar, definidas as acções a realizar para a sua concretização e respectiva calendarização e identificadas as entidades responsáveis pela execução dessas acções, bem como os indicadores para avaliar a sua eficácia. As medidas definidas no âmbito do PERN foram iniciadas em 2009 e deverão ser concretizadas, no máximo,

até ao final de 2011, de acordo com calendarização pré-estabelecida, a qual mereceu a concordância das entidades envolvidas no desenvolvimento de cada medida.

A análise realizada à qualidade do ar na Região Norte nos anos de 2005, 2006 e 2007 (Borrego *et al.*, 2008a, 2009a), identificou a aglomeração de Braga como em incumprimento dos VL anual e diário de PM10, constatando-se assim a necessidade de elaboração de Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar para esta aglomeração.

Neste sentido, este trabalho objectiva contribuir com informação de base técnica e científica para a elaboração do Plano de Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga com vista à redução das concentrações atmosféricas de matéria particulada, de forma a serem cumpridos os valores-limite de concentração de PM10 para protecção da saúde humana.

Visando atingir o objectivo proposto, e após um enquadramento legislativo e científico nesta matéria, é efectuada uma análise aprofundada aos valores de concentração de PM10 obtidos nas duas estações de monitorização da qualidade do ar existentes nesta aglomeração, para o período de 2005 a 2008. Esta análise visa avaliar os níveis de concentração de PM10 e as principais fontes que contribuem para esta situação, numa perspectiva de actuação sobre as mesmas, de forma a reduzir as emissões a elas associadas. Desta forma, são posteriormente propostas medidas que permitam reduzir as emissões e, conseqüentemente, as concentrações de PM10, tendo como base a análise da implementação de medidas similares em outras regiões e países, e adaptando algumas das que constam no Plano de Melhoria da Qualidade para a Região Norte.

No sentido de avaliar o potencial impacto das medidas, realiza-se posteriormente a modelação da qualidade do ar, estimando os benefícios ambientais (em termos da concentração de PM10) decorrentes da sua aplicação.

Por último, é efectuada uma análise custo-benefício de forma a conhecer as implicações financeiras e ambientais da aplicação destas medidas.

2. Enquadramento legislativo e científico

2.1. Legislação

Em 1996, a Directiva-Quadro da Qualidade do Ar - Directiva 96/62/CE, de 27 de Setembro, veio definir um renovado quadro habilitante em matéria de gestão da qualidade do ar, criando um sistema, a nível europeu, para o estabelecimento de objectivos de qualidade do ar para um vasto conjunto de poluentes e a formação de um sistema completo e coerente de recolha, transmissão e divulgação de informação sobre qualidade do ar à comissão europeia e à população. Este diploma, transposto para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, introduziu também um novo conjunto de obrigações a cumprir pelos EM, de entre as quais se destacam:

- A criação de sistemas de avaliação da qualidade do ar nos seus territórios, que deverá incluir três componentes principais: monitorização da qualidade do ar, inventários de emissões e modelação atmosférica;
- A elaboração e implementação de Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar, quando a mesma não satisfizer os critérios definidos.

Surgiram, posteriormente, quatro Directivas-Filha (DF), com o propósito de regulamentar cada poluente atmosférico específico, definindo, para estes, valores-limite, valores-alvo, objectivos a longo prazo, limiares de informação e limiares de alerta.

Em 2008 foi publicada a nova Directiva-Quadro da Qualidade do Ar, visando a simplificação e a melhoria da legislação relacionada com a qualidade do ar, fundindo num único documento legal a DQ 96/62/CE, três das suas DF (1999/30/CE, 2000/69/CE e 2002/3/CE), bem como a Decisão nº 97/101/CE sobre o intercâmbio de informação em matéria de poluição atmosférica.

As principais alterações desta directiva relativamente às anteriores são:

- Estabelecimento de um objectivo nacional de redução da exposição às PM_{2,5} e de um valor alvo e um VL para as PM_{2,5} para protecção da saúde humana;
- Possibilidade de prorrogação dos prazos de cumprimento e isenção da obrigação de cumprir determinados valores-limite.

A DQ determina a obrigação legal dos EM promoverem a melhoria da qualidade do ar, estabelecendo que deve ser elaborada uma lista das zonas e aglomerações em que os níveis de um ou mais poluentes sejam superiores ao VL acrescido da margem de tolerância, progressivamente reduzida ao longo dos anos até ao ano de cumprimento final do VL, em que

essa margem se torna nula, ou ao VL quando a MT não tenha sido fixada ou não se aplique. Nas zonas e aglomerações identificadas, os EM devem tomar medidas para garantir que seja elaborado ou aplicado um Plano ou Programa destinado a fazer cumprir o VL dentro do prazo fixado.

Na sequência do trabalho já realizado a nível nacional no âmbito dos PPar, foi publicado o Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, com o objectivo de definir um conjunto de procedimentos que, envolvendo os diferentes ministérios e respectivos serviços, a administração local e outras entidades relevantes, garantam a aprovação, aplicação e acompanhamento das medidas para melhorar a qualidade do ar. Este Decreto-Lei introduziu alterações a alguns pontos do Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, passando a haver distinção entre os Planos (de Melhoria da Qualidade do Ar) e os Programas (de Execução), visando os últimos a concretização efectiva das medidas previstas nos Planos.

Em 2008 foram publicadas as Portarias n.º 715/2008 e n.º 716/2008, de 6 de Agosto, que aprovaram os Planos de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Lisboa e Vale do Tejo e da Região Norte (PMRN). No caso da Região Norte, o Plano aprovado faz menção às excedências verificadas entre 2001 e 2004 nas Aglomerações Porto Litoral, Vale do Ave e Vale do Sousa.

No artigo 9.ºC do Decreto-Lei n.º 279/2007, de 6 de Agosto, estipula-se que, no prazo máximo de seis meses a contar da publicação da Portaria que aprova o Plano de Melhoria de cada Região, as CCDR devem apresentar uma proposta de Programa de Execução, a aprovar posteriormente por despacho conjunto. Assim, surgiram os Despachos n.º 20762/09 e n.º 20763/09, de 16 de Setembro, que aprovaram, respectivamente, os Programas de Execução da Região Norte e da Região de Lisboa e Vale do Tejo (relativos aos Planos de melhoria supracitados).

A 23 de Setembro de 2010 foi publicado o Decreto-Lei n.º 102/2010, que o qual transpõe para a legislação nacional a Directiva n.º 2008/50/CE, do Conselho, de 21 de Maio, actualizando e consolidando a moldura jurídica no âmbito da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente, ao reunir num único documento a legislação em vigor nesta matéria.

A legislação comunitária e nacional em matéria de gestão da qualidade do ar encontra-se resumida esquematicamente na figura 1.1.

A tabela 1.1 apresenta os valores-limite para a concentração de PM10 na atmosfera, para protecção da saúde humana, fixados no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro.

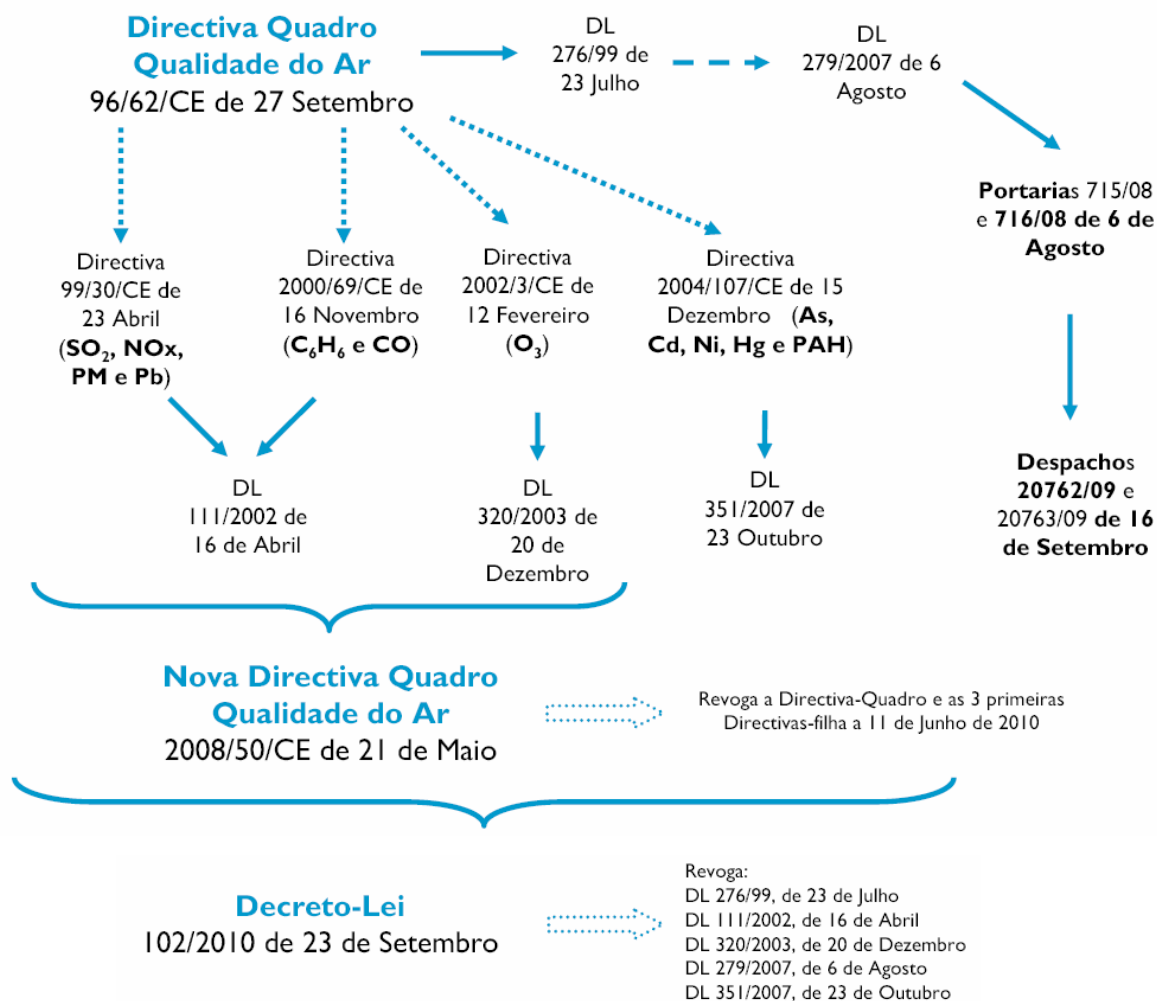


Figura 1.1: Enquadramento legislativo actual no âmbito da Qualidade do Ar.

Tabela 1.1: Valores-limite e margens de tolerância das concentrações atmosféricas de PM₁₀, para protecção da saúde humana, fixados no Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro.

Período de referência	Valor-limite ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) (a cumprir em 2005)
Diário	50 (a não ultrapassar mais do que 35 vezes num ano)
Anual	40

2.2. Matéria Particulada: conceitos base

O termo matéria particulada, ou aerossol atmosférico, define um conjunto de partículas sólidas e/ou líquidas, de diferentes tamanhos, em suspensão na atmosfera.

Uma única partícula contém uma mistura de vários componentes químicos, nomeadamente, carbono (orgânico e elementar), sulfatos, nitratos, amónia, sódio, cloro, poeiras minerais e água, em diferentes estados físicos (sólido, líquido) (CAFÉ, 2004).

O tamanho e a composição das partículas dependem não só dos processos de emissão mas também, particularmente para as de menor dimensão, dos processos atmosféricos pelos quais passam.

Existem diferentes maneiras de expressar o tamanho das partículas, no entanto, é usual serem descritas com base no DAE, que consiste no diâmetro de uma esfera de densidade unitária com a mesma velocidade terminal da partícula. As propriedades aerodinâmicas da PM, resumidas através do DAE, são importantes pois definem o seu transporte e remoção da atmosfera, a sua deposição no sistema respiratório e estão associadas à sua composição química e fontes de emissão (CAFÉ, 2004). Com base no DAE, as partículas podem ser divididas em duas categorias de tamanhos: finas ou grosseiras, consoante o DAE seja, respectivamente, inferior ou superior a 2,5 μm (partículas em suspensão susceptíveis de serem recolhidas através de uma tomada de amostra, com eficiência de corte de 50%, para um DAE de 2,5 μm).

O perfil de distribuição de tamanhos das partículas no ambiente é normalmente considerado como trimodal. A figura 2.1 apresenta um perfil de distribuição de tamanhos dos aerossóis atmosféricos e algumas das suas características. As medianas de cada modo podem variar em função das condições ambientais (a humidade, por exemplo) e diferir de região para região.

Segundo Seinfeld e Pandis (1998), os três modos são caracterizados da seguinte forma:

- Modo de nucleação, com partículas que variam entre os 0,005 e 0,1 μm de DAE, formadas por condensação de vapores quentes durante a combustão e por processos de conversão gás-partícula. São normalmente caracterizadas pela sua concentração numérica (número de partículas por unidade de volume) porque, apesar de o seu número ser elevado, a sua contribuição mássica é pequena;
- Modo de acumulação, entre 0,1 e 2,5 μm , formado por coagulação das partículas do modo de nucleação e condensação de vapores em partículas já existentes, levando ao aumento do seu tamanho;
- Modo de sedimentação, com partículas superiores a 2,5 μm de DAE, formadas por processos mecânicos e derivadas de emissões directas naturais e antropogénicas.

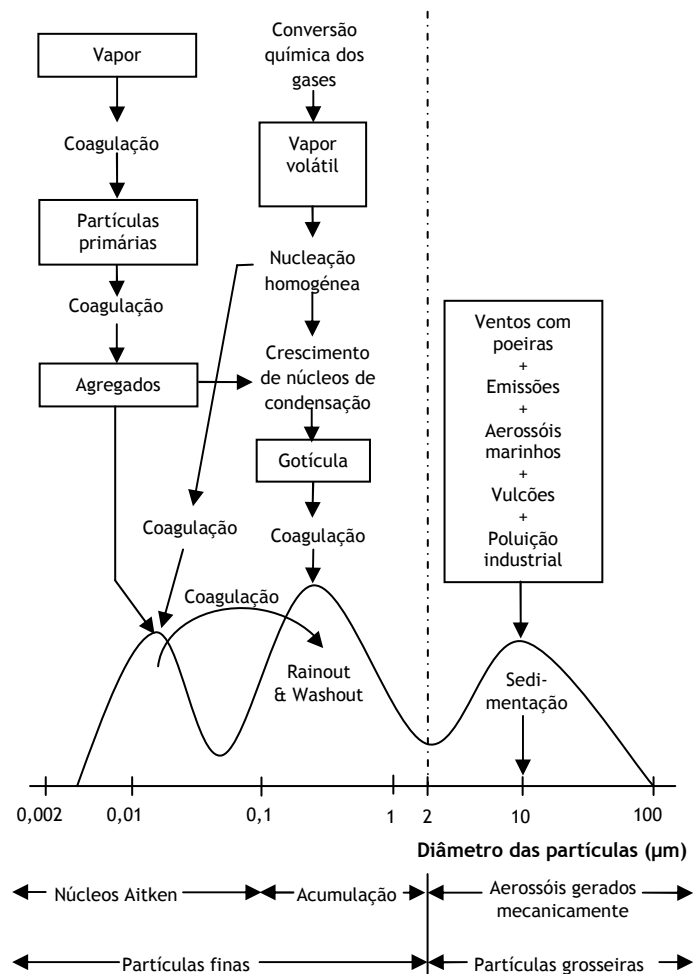


Figura 2.1: Características e perfil de distribuição de tamanhos dos aerossóis atmosféricos (Alves, 2005).

O aerossol atmosférico poderá ainda ser classificado, consoante o mecanismo de formação, como primário, quando as partículas resultam da emissão directa para a atmosfera, ou secundário, quando é formado na atmosfera por processos de conversão gás-partícula. Os gases precursores são, por exemplo, óxidos de azoto (NO_x), SO_2 , amoníaco (NH_3) e compostos orgânicos voláteis (COV). As contribuições destes gases e o seu potencial relativo para formar partículas diversificam com o local, a estação do ano e as condições meteorológicas.

Na Figura 2.2 estão representadas, de forma esquemática, as fontes de emissão directas e os mecanismos de formação de aerossóis.

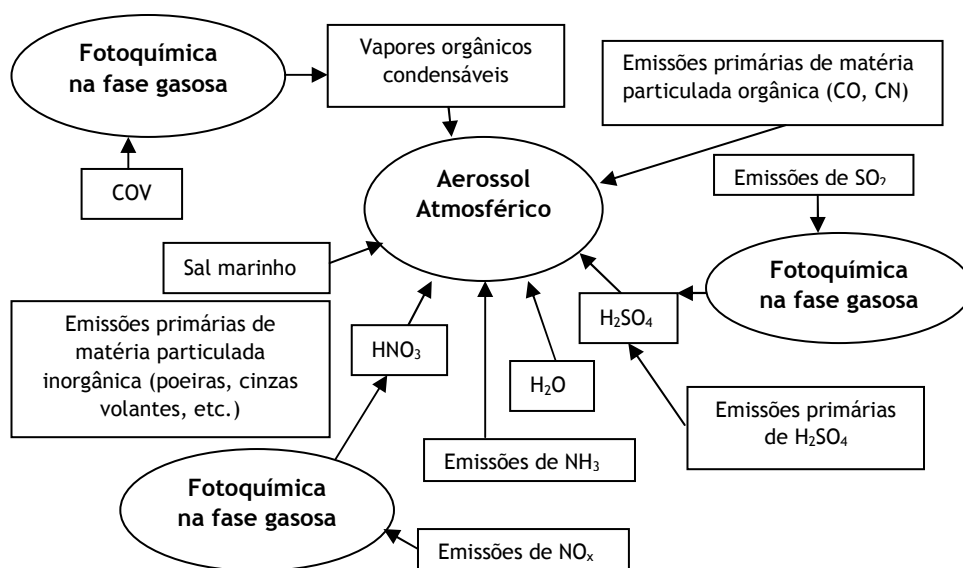


Figura 2.2: representação esquemática dos mecanismos de formação do aerossol atmosférico (Alves, 2005).

Uma vez emitidas, ou formadas na atmosfera, as partículas estão sujeitas a diferentes processos de remoção, que determinam o seu tempo de vida na atmosfera. A remoção da matéria particulada da atmosfera faz-se por deposição seca (deposição no solo, plantas, água, entre outras) e húmida, do tipo *rainout* (arrastamento pela água das chuvas até ao solo) ou *washout* (incorporação nas nuvens aquando da sua formação). O tempo médio de residência do aerossol troposférico varia de alguns dias a algumas semanas podendo, neste caso, ser transportado a longas distâncias (Seinfeld e Pandis, 1998).

A fracção de partículas de maior dimensão é mais susceptível aos processos de remoção, apresentando tempos de residência na atmosfera menores - para partículas com DAE superior a 20 μm é de algumas horas e com um DAE de 3 μm é de cerca de 2 a 4 dias. Partículas na gama de 0,1-1 μm , como por exemplo o material particulado proveniente de processos de combustão e aerossóis secundários, exibem maiores tempos de residência na atmosfera, podendo ser transportados a distâncias superiores a 1000 km (CAFÉ, 2004).

O tempo de residência de uma partícula na atmosfera determina a extensão das modificações às suas propriedades físico-químicas. Para além do tempo de residência, também as condições atmosféricas e a natureza dos poluentes presentes no ar determinam as propriedades das partículas. Por sua vez, a alteração das suas propriedades influencia os processos pelos quais a matéria particulada pode ser removida da atmosfera. Por exemplo, uma partícula fina que cresça por acumulação de componentes inorgânicos, que são normalmente higroscópios, tenderá a ser mais facilmente removida por precipitação.

A exposição à matéria particulada é responsável por danos também na saúde humana, que variam de acordo com o tamanho e composição físico-química das partículas. O conteúdo em

metais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e endotoxinas, por exemplo, contribuem para a elevada toxicidade das partículas (CAFÉ, 2004).

As partículas de menor dimensão têm sido associadas a diversos problemas de saúde, decorrendo o seu maior impacto da elevada capacidade de penetração no sistema respiratório (CONCAWE, 1999). A fracção grosseira de partículas (com DAE superior a 2,5 µm) é normalmente filtrada ao nível do nariz e das vias respiratórias enquanto as finas penetram mais profundamente nos pulmões, atingindo a região alveolar, podendo ficar aí retidas por longos períodos de tempo. Os efeitos na saúde manifestam-se, por exemplo, através de bronquites crónicas, crises cardíacas e respiratórias, irritação da mucosa dos olhos, nariz e garganta ou danos no sistema imunitário primário.

Estudos toxicológicos indicam que as partículas emitidas por motores de combustão interna, pela combustão de carvão, óleo residual e madeira têm um elevado potencial inflamatório (CAFÉ, 2004).

De acordo com um estudo da Organização Mundial de Saúde (OMS), em 1999, o número de mortes na Europa devido à emissão deste poluente pelos escapes dos automóveis excedeu aquele provocado pelos acidentes de trânsito (Rodríguez, 2002). Estimativas da Agência Europeia do Ambiente (EEA) indicam que a exposição às PM é responsável por cerca de três milhões de mortes anuais, a nível global.

As consequências de elevadas concentrações de matéria particulada para o ambiente são também relevantes. A deposição de partículas contendo sulfatos, nitratos, ácidos orgânicos, por exemplo, conduz à acidificação de solos e águas. Estas partículas danificam também o património edificado (Seinfeld e Pandis, 1998). Ao nível da vegetação, as PM podem ser responsáveis pela inibição das trocas gasosas através do bloqueamento dos estomas (Borrego *et al.*, 2006).

O material particulado interfere ainda no balanço radiativo terrestre, através da diminuição da quantidade de radiação que entra e sai da atmosfera, causada por processos de dispersão e absorção, variando consoante o tamanho e composição das partículas. Actualmente, a matéria particulada é considerada, em conjunto com os gases de efeito de estufa, um elemento chave na temática das alterações climáticas.

2.2.1. Fontes Naturais de PM

As partículas de origem natural são constituídas principalmente por silicatos, carbonatos e outros constituintes minoritários, no entanto, a composição química e mineralógica varia consoante a região de onde estes aerossóis são provenientes (CAFÉ, 2004).

O aerossol secundário de origem natural é composto, na sua maioria, por sulfatos, nitratos e aerossol orgânico. Os compostos de sulfato resultam da oxidação de gases contendo enxofre, tal como o SO₂ ou o dimetilsulfato (origem marinha). A maioria dos precursores do aerossol secundário de origem natural provém de grandes áreas florestais (Harrison *et al.*, 2001), onde grandes quantidades de compostos orgânicos voláteis (por exemplo terpenos) são emitidas (CAFÉ, 2004).

A influência das emissões de partículas de origem natural é especialmente importante no sul da Europa. Padrões sinóticos e características geográficas específicas desta região estão associados a valores de concentração de fundo de PM relativamente elevados.

Estima-se que a contribuição da matéria particulada de origem mineral natural para a concentração regional de fundo em Espanha é de cerca de 5 µg.m⁻³ (CAFÉ, 2004). Segundo Borrego *et al.* (2006), estas partículas podem atingir níveis de 5-7 µg.m⁻³, em estações de tráfego e urbanas.

Em locais costeiros, o aerossol marinho pode atingir valores de 7 µg.m⁻³ (Queról *et al.*, 2004).

2.2.1.1. Transporte de poeiras do Norte de África

O transporte de poeiras do Norte de África para a Europa, oriundas dos desertos do Sahara e do Sahel, é um fenómeno relativamente frequente e que afecta sobretudo o sul da Europa. Fenómenos de ressuspensão que ocorrem nestas zonas áridas elevam as poeiras, que são posteriormente transportadas a diferentes altitudes, as quais podem chegar aos 4500 metros. As partículas de menor dimensão (DAE menor que 10 µm) poderão ser transportadas a longas distâncias, percorrendo mais de 5000 km (Seinfeld e Pandis, 1998).

No sul da Península Ibérica a frequência destes fenómenos é, em média, de 16-19 episódios por ano com duração média de 1 a 10 dias, podendo as concentrações diárias de PM₁₀ nestes períodos atingir os 150 µg.m⁻³. No norte da Península Ibérica são registados, em média, 6 episódios por ano com duração inferior a 4 dias cada (Querol *et al.*, 2003).

Segundo Rodríguez *et al.* (2001), as concentrações de poeiras minerais na região Este de Espanha durante episódios Africanos podem atingir contribuições na ordem dos 20 - 30 µg.m⁻³ para as PM₁₀ e 10 - 15 µg.m⁻³ para as PM_{2,5}.

Apesar de poderem ocorrer ao longo de todo o ano, estes fenómenos são mais frequentes em Fevereiro e Março, com poeiras oriundas do Sahel a serem transportadas ao longo do Oceano Atlântico até à Europa. São também frequentes no Verão, quando ocorre o transporte de poeiras do Sahara. Estes fenómenos são menos frequentes em Novembro e Dezembro (CAFÉ, 2004).

Na figura 2.3 pode observar-se, através duma imagem de satélite, um destes fenómenos, ocorrido a 30 de Outubro de 2001. Neste caso, as poeiras são oriundas da região do Sahara e atingiram o território nacional, bem como a maior parte da Europa ocidental.

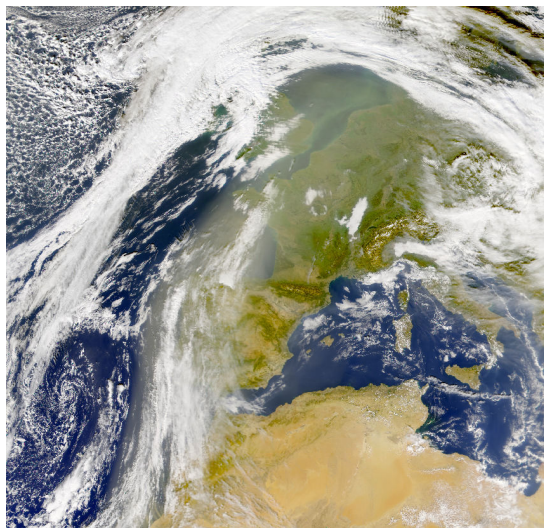


Figura 2.3: Imagem de satélite do dia 8 de Junho de 2006 (URL 1).

2.2.1.2. Aerossol Marinho

O aerossol marinho é normalmente originado pela evaporação da água existente nas partículas resultantes da desintegração das bolhas criadas à superfície do oceano, com origem na acção do vento sobre as ondas. Após equilíbrio com a humidade atmosférica forma-se uma massa de aerossol composta fundamentalmente por iões cálcio, sódio, magnésio e sulfato (Pio, 1988).

Nas zonas costeiras o aerossol marinho poderá ser também uma fracção importante dos níveis de PM₁₀ (CAFÉ, 2004).

Segundo um estudo realizado por Pio *et al.* (1996) na praia do Areão (costa de Aveiro, Portugal), a contribuição deste aerossol para a quantidade total de partículas grosseiras no ar ambiente daquele local é de 88%. Um outro estudo efectuado pelo mesmo autor (Pio *et al.*, 1998), levado a cabo no centro do Porto, revela que, neste local o aerossol marinho tem uma contribuição de cerca de 20% na concentração de material grosseiro no ar ambiente.

2.2.1.3. Incêndios Florestais

Os incêndios florestais são uma importante fonte de emissão de poluentes atmosféricos, sendo considerados como fonte natural de partículas, podendo levar a episódios de poluição elevada. Para além de partículas, os incêndios emitem ainda óxidos de azoto, compostos orgânicos voláteis e amoníaco, que podem ser precursores da formação de PM_{2,5} secundário. Estudos

efectuados têm confirmado a existência de uma relação directa entre o número de incêndios e a concentração de PM10 (Carvalho, 2008; Martins, 2007). De acordo com os dados da Autoridade Florestal Nacional, e como se pode verificar pela análise das figuras 2.4 e 2.5, 2005 foi um ano em se que registou um grande número de incêndios que, agravados por condições meteorológicas extremas que se fizeram sentir durante alguns dias deste ano, criaram condições para a existência de incêndios de enorme dimensão, que consumiram vastas áreas florestais (DGRF, 2006). Nos anos de 2006, 2007 e 2008 os valores registados foram, para grande maioria dos distritos portugueses, inferiores aos verificados no decénio anterior (1998-2007). Em 2008 verificaram-se menos 49% das ocorrências e menos 89% da área ardida, face aos valores médios nesse decénio (AFN, 2009).

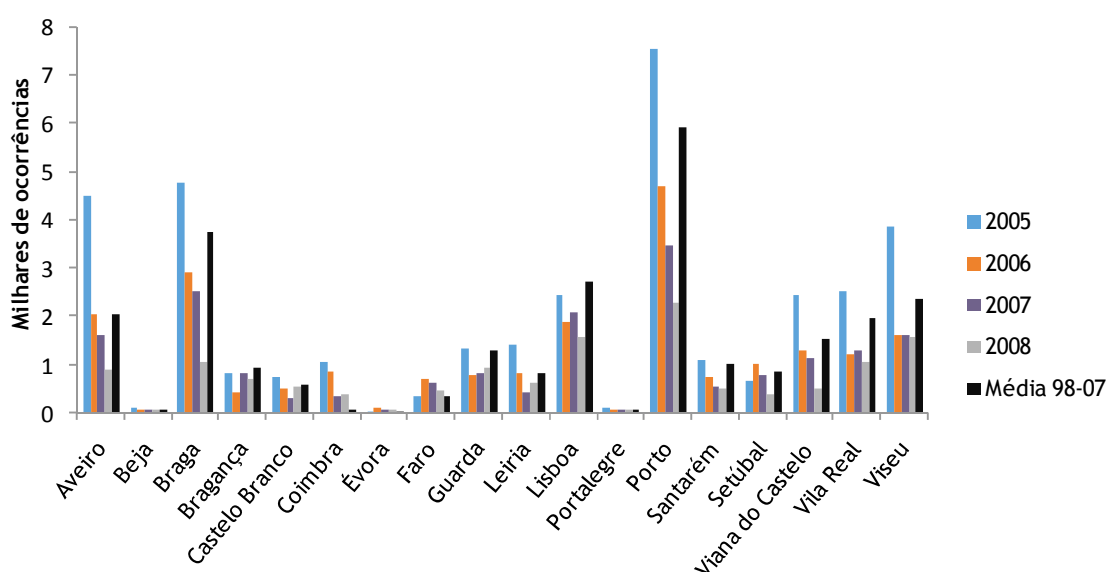


Figura 2.4: Número de incêndios florestais ocorridos em Portugal, por distrito, para os anos de 2005 a 2008 e média do decénio 1998-2007 (Adaptado de DGRF, 2006, 2007, 2008; AFN, 2009).

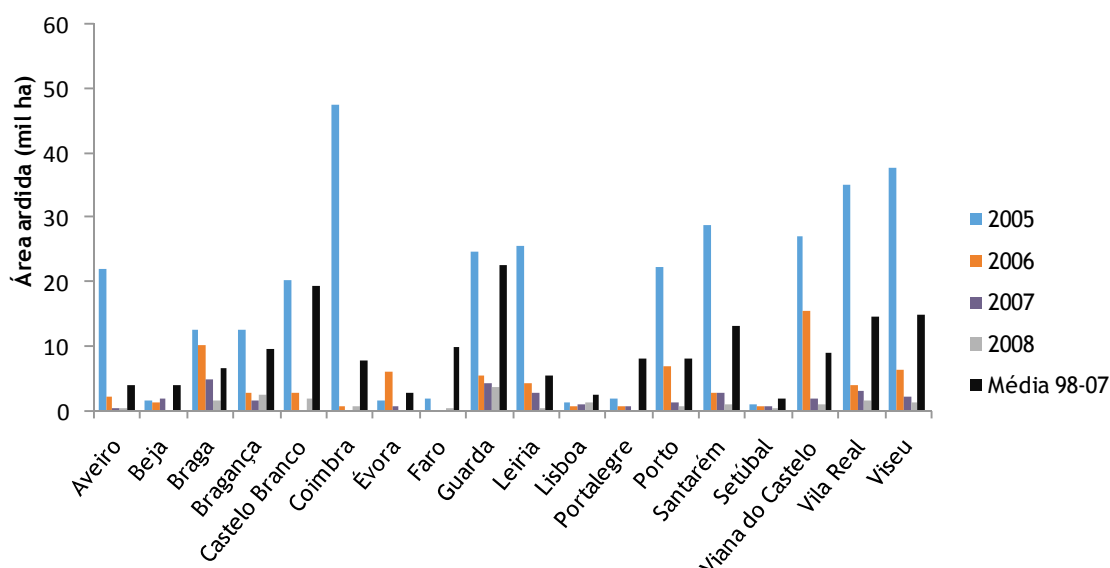


Figura 2.5: Área florestal ardida em Portugal, por distrito, para os anos de 2005 a 2008 e média do decénio 1998-2007 (Adaptado de DGRF, 2006, 2007, 2008; AFN, 2009).

2.2.1.4. Outras Fontes Naturais

As emissões vulcânicas são uma fonte de aerossóis primários e, principalmente, secundários, à base de compostos de enxofre, resultantes das elevadas emissões de SO_2 desta fonte. Apesar da contribuição das emissões vulcânicas para os níveis de PM na atmosfera ser limitada, as partículas emitidas podem atingir altitudes elevadas, chegando mesmo à estratosfera, e permanecer durante longos períodos de tempo (um ano ou mais), podendo influenciar o balanço radiativo (CAFÉ, 2004).

Os aerossóis primários de origem biogénica são constituídos por detritos vegetais, pólen, esporos e pequenas quantidades de microrganismos (vírus, bactérias, fungos, algas, entre outros). Apesar de existirem poucos estudos sobre a representatividade destes constituintes do aerossol atmosférico, estima-se que, mesmo nas áreas urbanas das regiões temperadas, representem 10-30% da distribuição numérica das partículas (Alves, 2005).

2.2.2. Fontes Antropogénicas

As emissões antropogénicas de matéria particulada estão localizadas não só nas zonas industriais mas também nas áreas urbanas.

Nas primeiras, as emissões estão associadas principalmente à indústria mineira, cerâmica e de fabricação de cimento, bem como a instalações de combustão para aquecimento e/ou produção

de electricidade. A combustão de carvão na indústria foi, e continua a ser ainda em alguns países, uma importante fonte de emissão de partículas, tais como cinzas volantes. No entanto, a substituição deste combustível por outros menos poluentes, bem como a adopção de tecnologias de tratamento dos efluentes, reduziu a sua importância como fonte de emissão de material particulado, na maioria dos países industrializados.

Em ambientes urbanos o aerossol primário provém essencialmente do tráfego automóvel (emissões resultantes da combustão, da erosão do pavimento por acção do tráfego, desgaste dos pneus e travões e ressuspensão de material depositado nas vias de trânsito), da combustão doméstica e as obras de construção civil.

Observações da razão $PM_{2,5}/PM_{10}$, da distribuição de tamanhos das partículas e da sua composição química, indicam que o tráfego rodoviário também contribui para a emissão de aerossóis secundários de nitrato e carbonato (CAFÉ, 2004). O manuseamento de gasolina também promove a formação de aerossóis, por libertação de precursores (hidrocarbonetos aromáticos e não metânicos) através da evaporação (CAFÉ, 2004).

A combustão fóssil associada ao tráfego automóvel dá origem a partículas finas enquanto as geradas mecanicamente por esta fonte são essencialmente grosseiras. O número e tamanho das partículas emitidas por motores a gasóleo são superiores aos dos motores a gasolina, o que resulta numa maior emissão mássica por veículo e quilómetro. No entanto, alguns estudos indicam que, apesar de a contribuição em massa ser, na maioria das situações, muito menor do que no caso dos motores a gasóleo as emissões de motores a gasolina, estes podem ter uma contribuição significativa para as emissões totais de PM, principalmente a velocidades mais elevadas, em que as taxas de emissão são altas (CONCAWE, 1998).

Para além das emissões directas dos escapes dos automóveis, a ressuspensão de material das estradas também contribui significativamente para a concentração total de partículas no ar ambiente. Estima-se que estas duas fontes poderão ser da mesma ordem de grandeza no que respeita às PM_{10} , apesar da determinação da contribuição da ressuspensão ser difícil de concretizar (CAFÉ, 2004). De acordo com Ketzel *et al.* (2005), entre 50 a 85% das emissões de PM_{10} são provenientes de fontes não relacionadas com a exaustão.

Estima-se que as emissões de fontes móveis são responsáveis por cerca de 36% das emissões totais de partículas em suspensão (Tchepel, 2003).

As actividades humanas também dão origem a bio-aerossóis. Bactérias e fungos, que constituem o aerossol biológico primário, são gerados em processos de compostagem e reciclagem de resíduos sólidos, representando um risco adicional para a saúde humana (Rodríguez, 2002). A agricultura também contribui para as emissões antropogénicas de partículas primárias e de gases precursores de aerossóis orgânicos secundários.

2.3. Modelação da qualidade do ar

A modelação da qualidade do ar é uma simulação matemática da dispersão e transformações físico-químicas dos poluentes na atmosfera. (Reid *et al.*, 2007). É cada vez mais um instrumento fiável, uma ferramenta com uma utilização crescente na gestão da qualidade do ar, não só como meio de diagnóstico mas também de previsão dos impactes das emissões, da meteorologia e de medidas de mitigação nas concentrações e na dispersão de poluentes.

No que respeita à avaliação da qualidade do ar, esta ainda se baseia essencialmente nos dados da monitorização, dado que este método é visto como sendo aquele que mais se aproxima da realidade. A DQ 2008/50/CE, de 21 de Maio, ao contrário das anteriores directivas, que baseavam a avaliação e o reporte de dados nos resultados da monitorização, coloca maior ênfase e encoraja o uso de modelos. Isto porque, apesar de os modelos serem vistos como tendo associado um maior grau de incerteza do que a monitorização, existem fortes razões para estes serem utilizados na avaliação da qualidade do ar, nomeadamente:

- A completa cobertura espacial da qualidade do ar que a modelação pode, potencialmente, providenciar, ao contrario da monitorização, cuja abrangência é limitada;
- A capacidade de prognóstico, providenciando previsões de curto prazo e informação quase em tempo real ao público e possibilitando a implementação de medidas de curto prazo para melhoria da qualidade do ar;
- A possibilidade de melhorar a compreensão da relação entre a fonte e o receptor e de perceber a influência, por exemplo, das condições meteorológicas, das emissões e das condições orográficas na qualidade do ar.

Em virtude das vantagens descritas, a modelação torna-se também uma ferramenta importante para a selecção, desenvolvimento e avaliação de medidas a aplicar nos PPar.

No entanto, nem a medição nem a modelação por si só fornecem informação suficiente a uma boa avaliação da qualidade do ar à escala regional. A combinação da medição com a modelação reduz as incertezas associadas a ambas e é fortemente recomendada para obter uma melhor representação da situação real na área de interesse (Air4EU, 2006).

O artigo 6.º da DQ estabelece quando e de que forma a modelação pode ser utilizada para a avaliação da qualidade do ar, à excepção do ozono, com base no nível dos poluentes:

- Como suplemento à monitorização, quando as concentrações ultrapassam o limiar superior de avaliação na zona ou aglomeração;
- Em conjunto com a monitorização, quando é excedido o limiar inferior de avaliação;

- Em detrimento da monitorização, quando os níveis de concentração se encontram abaixo do limiar inferior de avaliação.

Por conseguinte, duas grandes vantagens advêm desta nova abordagem, nomeadamente, a possibilidade de avaliação da qualidade do ar em locais onde a monitorização não é efectuada e o potencial de redução do número de estações de monitorização em zonas e aglomerações onde também seja utilizada a modelação, de forma apropriada, com a consequente diminuição de custos (Denby *et al.*, 2010).

Neste novo diploma reforça-se ainda a necessidade de se recorrer à modelação para previsão da qualidade do ar e, consequentemente, possibilitar o alerta às populações e a implementação de planos de acção imediata. Desta forma, torna-se possível ter uma visão antecipada da qualidade do ar e tomar medidas de curto-prazo que previnam a ocorrência de episódios de excedências de concentração de determinados poluentes, ou pelo menos, minimizem o seu impacte.

A DQ não estabelece quaisquer disposições relativas aos modelos a utilizar, podendo ser aplicados desde que cumpram os objectivos de qualidade fixados no seu Anexo I. Os objectivos de qualidade dos modelos só se aplicam aquando do reporte de excedências. Tais objectivos não se destinam a outras aplicações, como sejam a previsão de qualidade do ar e o planeamento de medidas de melhoria.

Existe uma grande variedade de modelos passíveis de serem utilizados na modelação da qualidade do ar. De modo geral, os modelos podem dividir-se em quatro categorias (Denby *et al.*, 2010), consoante a sua concepção:

- Modelos estatísticos, baseados em relações entre o que é observado e outro parâmetro relevante (volume de tráfego automóvel, por exemplo). Existe uma grande variedade de métodos estatísticos, incluindo os modelos estocásticos. Uma vez que se baseiam em observações, têm de ser ajustados a cada ambiente em que venham a ser utilizados. Não são adequados à utilização para definição de planos de mitigação, pois não estabelecem uma relação entre as emissões e a concentração;
- Modelos analíticos, que resolvem equações analíticas, normalmente aproximações aos processos físicos que regem a química e/ou o transporte e a difusão. Um exemplo é o modelo Gaussiano, o qual assume que a dispersão turbulenta pode ser descrita usando um perfil de distribuição Gaussiana. Estes modelos são frequentemente utilizados, pois fornecem estimativas relativamente boas da concentração de poluentes com origem nas emissões industriais e do tráfego.
- Modelos Eulerianos, mais utilizados para aplicações de escala urbana ou regional. Resolvem as equações do movimento, reacções químicas e físicas em pontos fixos no espaço. A grelha Euleriana pode ser baseada nas coordenadas geográficas, tal como a latitude e longitude, ou em coordenadas locais, tal como a distância. Para a escala

urbana, o tamanho das grelhas varia entre 1 e 5 km, enquanto para a escala regional varia entre 10 e 50 km. Existem modelos Eulerianos de alta resolução, que resolvem as equações do movimento até à escala de metro, ou ainda menor. Este tipo de modelos, tais como os que seguem o método da simulação das grandes escalas da turbulência (Large Eddy Simulation) ou modelos de computação dinâmica de fluidos, têm em conta os edifícios bem como outros obstáculos e permitem um nível de detalhe à escala local que os modelos de mesoscala/regionais não permitem.

- Modelos Lagrangianos, existindo uma vasta variedade de modelos, todos eles utilizando ou descrevendo trajectórias de partículas.

De modo geral, não se considera que existam bons ou maus modelos. Um modelo pode ser ou não adequado ao objectivo que se pretende atingir. A complexidade do ambiente a simular, a dimensão do modelo, a natureza das fontes de material particulado, os requisitos computacionais necessários e o tempo necessário, exactidão e escala temporal das concentrações que se deseja calcular, são alguns dos factores a ponderar aquando da selecção do modelo a utilizar (Holmes *et al.*, 2006)

De um modo geral, o modelo seleccionado deverá cumprir os seguintes critérios (Denby *et al.*, 2010):

- Possuir uma resolução espacial e temporal adequada à finalidade pretendida;
- Estar bem documentado e ser validado para a aplicação pretendida;
- Incorporar os processos químicos e físicos relevantes e adequados ao tipo de aplicação, à escala e ao poluente em estudo;
- Representar adequadamente as fontes de emissão relevantes.

Embora a utilização da modelação na gestão da qualidade do ar apresente diversas vantagens, a ela ainda estão associadas algumas limitações, que dificultam ou limitam a sua utilização (Denby *et al.*, 2010), nomeadamente:

- A necessidade de uma grande quantidade de dados de entrada fiáveis (dados de emissões e meteorológicos, por exemplo) que nem sempre são fáceis de obter;
- A limitada capacidade de representação da realidade, por exemplo, relativamente à resolução espacial e à descrição dos processos;
- A elevada incerteza associada, requerendo-se uma avaliação exaustiva antes de poderem ser aplicados e acreditados.

De forma a minimizar a incerteza associada à modelação, os modelos devem ser verificados e validados antes de poderem ser usados com confiança para efeitos de avaliação e gestão da qualidade do ar. Vários projectos investigação na área da modelação atmosférica têm sido

apoiados pela União Europeia (Denby *et al.*, 2010), entre os quais o EUROTRAC2-SATURN (URL 2), EuroDelta and CityDelta (Cuvelier *et al.*, 2007; Thunis *et al.*, 2007; Vautard *et al.*, 2007), COST action 728 (URL 3), COST action 732 (URL 4) e Air4EU (URL 5).

São frequentemente mencionados três aspectos importantes para a avaliação dos modelos: a análise de incertezas, análise de sensibilidade e a inter-comparação. Análise de incertezas é um processo de caracterização da incerteza do modelo. A análise de sensibilidade objectiva compreender até que ponto um modelo depende da informação que lhe é fornecida. A Inter-comparação é um processo de avaliação da performance de um modelo, por comparação entre os resultados apresentados por vários modelos para a mesma situação (Denby *et al.*, 2010).

Borrego *et al.* (2008b) propõe que a estimativa da incerteza total do modelo seja feita de três formas: análise gráfica simples, parâmetros estatísticos e uma terceira mais compreensiva, onde se detalhe a incerteza total do modelo e a contribuição das diferentes componentes. Para a tomada de decisão, no âmbito de Planos de qualidade do ar, por exemplo, a avaliação estatística é suficiente.

Segundo Vixseboxse e de Leeuw (2008, 2009), entre 2004 e 2007, 13 dos 27 estados membros utilizavam a modelação para determinar situações de excedência aos valores-limite. O uso da modelação não estava uniformemente distribuído pelos vários poluentes, sendo os dados relativos ao chumbo (30,3%), benzeno (21,7%) e monóxido de carbono (17,9%) os mais frequentemente reportados utilizando modelos. Em comparação, o uso da modelação para os poluentes dióxido de azoto (NO₂), SO₂, NO_x e PM₁₀, entre 2004 e 2007, foi significativamente inferior (7-10%).

Em Portugal, a modelação não tem sido utilizada para determinar situações de excedência aos valores-limite, no entanto, existem diversos estudos de qualidade do ar realizados com recurso à modelação (Ferreira, 2007; Monteiro *et al.*, 2005, 2007). Relativamente à previsão da qualidade do ar, existem actualmente em Portugal dois sistemas de previsão: um sistema estatístico, baseado em análises da regressão linear múltipla (RM) e da regressão em árvore (CART), estimando as concentrações médias diárias de PM₁₀, bem como as concentrações máximas diárias de Ozono (O₃), para o dia seguinte, a partir de um conjunto de dados meteorológicos e de qualidade do ar observados; e um modelo determinístico, composto por um modelo meteorológico MM5 (Grell *et al.*, 1994) e um modelo químico CHIMERE (Schmidt *et al.*, 2001; Bessagnet *et al.*, 2004), que integra as previsões das variáveis meteorológicas necessárias, o inventário de emissões, as características do domínio e o conhecimento físico-químico da dispersão de poluentes atmosféricos (Monteiro *et al.*, 2005). Os resultados da previsão são divulgados diariamente através da internet (URL 6), dos jornais e rádio (Antena 1).

Neste momento está a decorrer um projecto nacional - ENSEMBLAIR, financiado pela Fundação para a ciência e Tecnologia (FCT), que objectiva a redução da incerteza nos resultados dos

modelos de qualidade do ar através da aplicação da técnica de *ensemble* a um conjunto de sistemas de modelos de qualidade do ar (URL 7).

3. Avaliação dos níveis de Partículas em suspensão na aglomeração de Braga no período 2005-2008

A monitorização da qualidade do ar é obrigatória nas zonas e aglomerações existentes em território nacional e definidas de acordo com o estabelecido na Directiva-Quadro, cabendo às CCDR a gestão da rede de estações de medição, para a sua área de jurisdição. Uma zona define-se, segundo o Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, como uma “área geográfica de características homogéneas, em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional”, e uma aglomeração como uma “zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250 000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50 000, sendo a densidade populacional superior a 500hab.km⁻²”.

A Região Norte é constituída por 2 zonas e 4 aglomerações (IA, 2001): zonas Norte Interior e Norte Litoral e aglomerações de Porto Litoral, Braga, Vale do Sousa e Vale do Ave (figura 3.1).

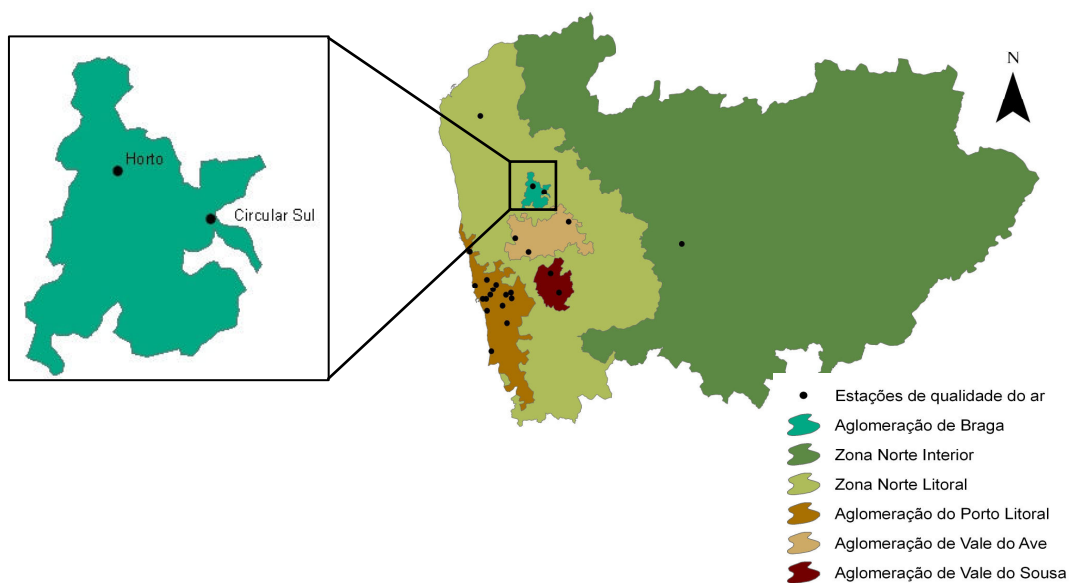


Figura 3.1: Representação das Zonas e Aglomerações da Região Norte e localização das estações de monitorização, com destaque para a aglomeração de Braga.

A aglomeração de Braga estende-se por uma área de cerca de 83,56 km² com uma população residente de aproximadamente 134 000 pessoas (URL 8), que abrange 35 freguesias pertencentes ao concelho de Braga e uma freguesia do concelho de Vila Verde.

Na aglomeração de Braga estão instaladas duas estações de monitorização de qualidade do ar. Na Tabela 3.1 apresenta-se informação detalhada sobre estas estações, nomeadamente, o tipo de estação e tipo de zona envolvente à mesma, início de funcionamento e poluentes medidos (Ferreira *et al.*, 2009a).

Tabela 3.1: Caracterização das estações de qualidade do ar da aglomeração de Braga.

		Circular Sul	Horto
Latitude		41° 32'60" N	41° 34'10" N
Longitude		08° 24'21" W	08° 27'25" W
Altitude (m)		175	51
Concelho (m)		Braga	Braga
Freguesia		São Vítor	Frossos
Data de início		Mar-04	Mar-04
Tipo de Ambiente		Urbana	Suburbana
Tipo de influência		Tráfego	Fundo
Características da zona		Residencial	Residencial/Agrícola
Poluentes monitorizados	CO	✓	
	NO _x	✓	✓
	SO ₂		✓
	PM10	✓	✓
	O ₃		✓
Observações			EMA ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Estação meteorológica automática com medição de velocidade e direcção do vento, temperatura, radiação solar, humidade relativa e precipitação.

3.1. Caracterização dos níveis de PM10 registados na aglomeração de Braga

Para garantir uma análise adequada dos dados monitorizados nas estações de qualidade do ar, o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro, prevê que a recolha de dados anual deve ser no mínimo de 90% para que se considere que existe medição em contínuo - critério de qualidade dos dados.

A tabela 3.2 apresenta as eficiências de recolha de dados obtidas nos analisadores de PM10, nas estações da aglomeração de Braga. Os valores de eficiência são expressos em percentagem do número de dias (n.º médias diárias válidas/n.º médias diárias possível).

Tabela 3.2: Eficiências dos analisadores de PM10 das estações da aglomeração de Braga.

	Circular Sul	Horto
	% (dia)	% (dia)
2005	82	86
2006	83	74
2007	97	98
2008	87	96

Da análise da tabela 3.2 verifica-se que o critério de qualidade dos dados (90%) apenas foi cumprido em 2007, nas estações de Circular Sul e Horto, e em 2008 na estação de Horto. Em 2005 e 2006, nenhuma das estações de qualidade do ar da aglomeração de Braga cumpriu o critério de qualidade dos dados para as PM10. Segundo Borrego *et al.* (2008a), a baixa eficiência de recolha de dados na estação de Circular Sul terá sido devida a situações de entrada de água e de condensação no tubo de amostragem do analisador de partículas, tendo estes problemas ficado resolvidos no final de 2006.

No entanto, na avaliação das concentrações médias anuais e n.º de excedências ao VL diário também se incluíram os anos em que não foi atingido o objectivo de qualidade dos dados.

Os valores de concentração média anual de PM10 e o n.º de excedências ao VL diário, verificados nas estações da aglomeração de Braga, encontram-se representados nas figuras 3.2 e 3.3.

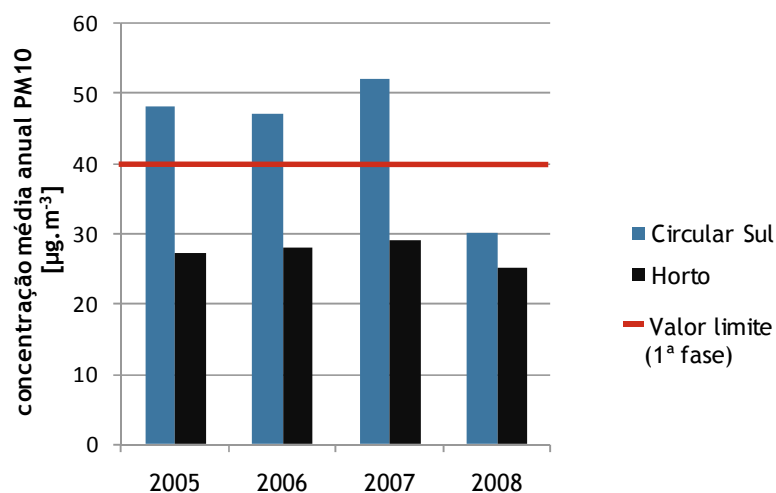


Figura 3.2: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, nas estações de Circular Sul e Horto.

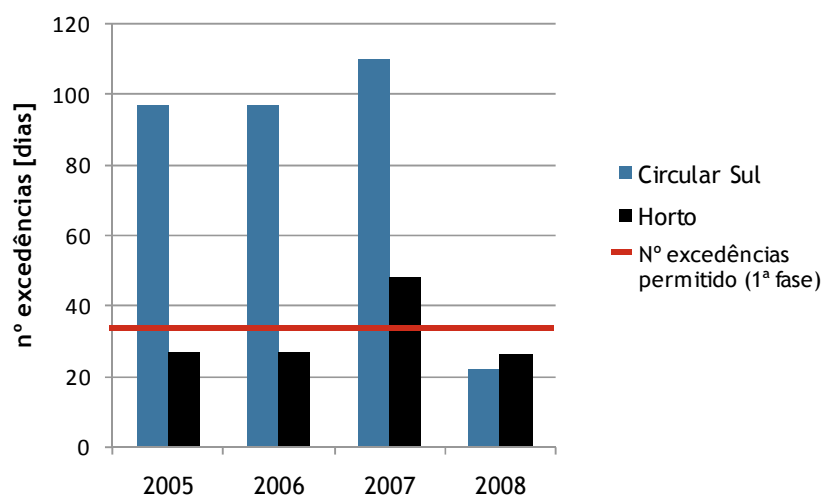


Figura 3.3: Concentrações médias anuais de PM10 para as estações da aglomeração de Braga e respectivo VL.

Da análise da figura 3.2 e 3.3 destaca-se o grande número de ultrapassagens ao VL diário de PM10 verificado anualmente na estação de Circular Sul, muito superior às 35 vezes por ano permitidas por lei, e as elevadas concentrações médias anuais registadas, que também ultrapassam o VL estabelecido.

Denota-se uma grande discrepância entre os valores registados na estação de Circular Sul e Horto, facto que poderá ser explicado pelos diferentes tipos de ambiente e de influência que caracterizam estas estações - Circular Sul é uma estação urbana com influência do tráfego e Horto é suburbana com influência de fundo.

O ano de 2007 foi aquele em que se registou um maior número de ultrapassagens ao VL diário. Para este facto contribuíram as obras de construção civil que decorreram entre o início de Outubro e o final de Dezembro de 2007 na estrada junto à qual a estação de Circular Sul está situada e a consequente ressuspensão provocada pela passagem dos veículos na via, o que fez aumentar significativamente as concentrações de partículas, registando-se neste período valores de concentração horária de PM10 acima dos $1000 \mu\text{g.m}^{-3}$.

A Figura 3.4 retrata as condições da envolvente da estação neste período.



Figura 3.4: Envolvente da estação de Circular no final do ano de 2007.

Apresenta-se, na Figura 3.5, a variação das concentrações médias horárias de PM₁₀ em Circular Sul entre Maio de 2007 e Abril de 2008.

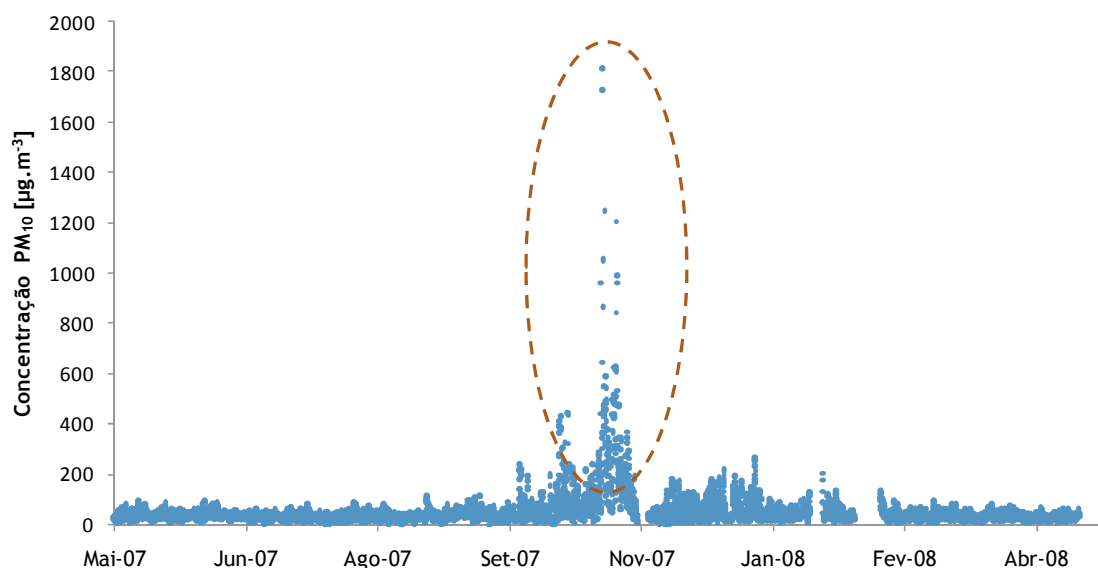


Figura 3.5: Concentrações médias horárias de PM₁₀ registadas na estação urbana de tráfego de Circular Sul, Braga, entre Maio de 2007 e Maio de 2008.

A figura 3.5 evidencia o aumento significativo das concentrações de material particulado na atmosfera no período em que a via se encontrava com cobertura de terra batida.

Pela observação da figura 3.2 verifica-se que na Estação de Horto, em 2007, o nº de ultrapassagens ao VL diário de PM₁₀ foi, excepcionalmente, superior ao estabelecido no documento legal supra referido. No entanto, durante vários dias de Novembro e Dezembro foi efectuada fumigação no Horto municipal no qual esta estação de qualidade do ar está instalada, estimando-se que uma parte das excedências ao VL diário de PM₁₀ registadas nesta estação foi

originada por esta prática. No anexo B apresenta-se uma tabela com as causas prováveis das excedências verificadas em 2007 nesta estação, informação que foi enviada à União Europeia.

Da análise das figuras 3.2 e 3.3 denota-se ainda que em 2008 houve um decréscimo acentuado no n.º de ultrapassagens ao VL diário e da concentração média anual de PM10, o que permitiu dar cumprimento aos requisitos impostos no Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril.

A análise aos dados de qualidade do ar das restantes estações de monitorização da Região Norte permitiu perceber que 2008 foi um ano atípico, tendo-se registado uma descida generalizada das concentrações de poluentes, nomeadamente as PM10, nas estações desta Região. Esta situação indicia que as condições meteorológicas verificadas neste ano terão influenciado fortemente as concentrações deste poluente na atmosfera.

Para além disto refira-se que, em 2008, se registaram menos 49% das ocorrências de incêndios e menos 89% da área ardida, face aos valores médios nesse decénio (AFN, 2009).

No anexo C apresentam-se graficamente alguns dados relativos às concentrações de PM10 registadas em todas as estações da Região Norte, para os anos de 2005 a 2008.

O Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, obriga à elaboração de Planos e Programas para as PM10 quando as ultrapassagens dos VL não puderem ser imputadas a causas naturais ou à ressuspensão de partículas em consequência da colocação de areia nas estradas durante o Inverno. Em Portugal, como não é usual a aplicação de areia nas estradas, foram apenas determinados os episódios de poluição associada aos eventos naturais, nomeadamente, o transporte de poeiras dos desertos Africanos e a emissão de aerossol dos incêndios florestais.

A identificação e avaliação de eventos naturais para o ano de 2005 foi efectuada por Borrego *et al.* (2008a), para as estações que apresentaram um n.º de excedências ao valor-limite diário de concentração de PM10 superior ao estabelecido no Decreto-Lei supracitado (35 vezes no ano). Como a estação de Horto não se encontrava nesta situação, a avaliação das excedências devidas a causas naturais não foi efectuada para esta estação.

Relativamente aos anos de 2006, 2007 e 2008, a identificação e avaliação de eventos naturais em Portugal foi efectuada por Ferreira *et al.* (2007; 2008; 2009b).

Nos anexos D e E encontram-se resumidas as metodologias utilizadas para a identificação e avaliação destes fenómenos.

Na figura 3.6 e 3.7 apresenta-se o número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, na estação de Circular Sul e Horto, respectivamente. Ao número total de ultrapassagens foram descontados os dias em que as mesmas terão sido devidas a causas naturais.

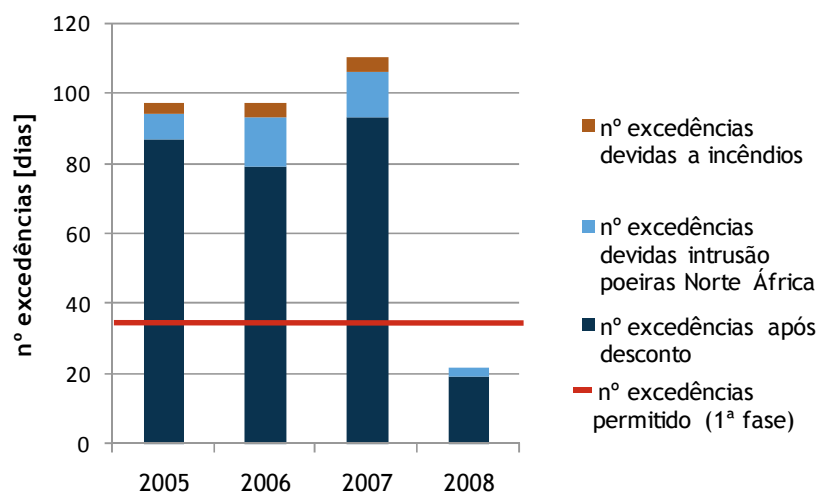


Figura 3.6: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, na estação de Circular Sul.

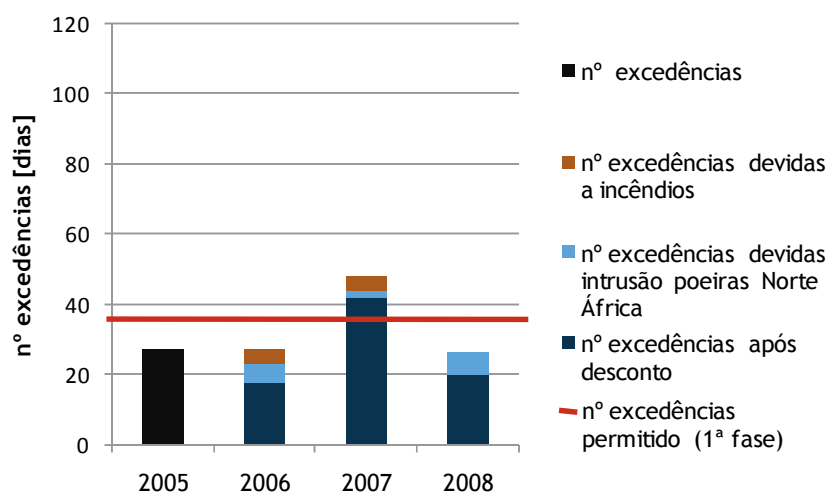


Figura 3.7: Representação do número de dias em que se registaram excedências ao VL diário de PM10, na estação de Horto.

Da análise das figuras 3.6 e 3.7 pode verificar-se que, mesmo descontados os episódios naturais, se registaram excedências ao VL diário de PM10 em número superior ao legislado (35 vezes), tanto na Estação de Circular Sul (em 2005, 2006 e 2007) como na estação de Horto (em 2007).

Consequentemente, face às excedências aos valores-limite de concentração média anual e diária de PM10 verificadas, constata-se a necessidade de elaboração de um Plano para a melhoria da qualidade do ar na aglomeração de Braga.

3.2. Análise das concentrações de PM10 registadas na aglomeração de Braga

A análise da variação temporal das concentrações de PM10 possibilita uma melhor compreensão das fontes e processos que as determinam.

Esta análise foca-se principalmente na estação de Circular Sul dado que o incumprimento do Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, que se verificou em 2007 na estação de qualidade do ar de Horto, terá sido excepcional, tendo sido devido à prática de fumigação no Horto municipal no qual esta estação está instalada.

Foram utilizados os dados relativos a 2007 e 2008, para os quais as eficiências do analisador de PM10 foram mais elevadas. No entanto, para o ano de 2007, decidiu-se retirar da análise os valores de concentração registados entre 1 de Outubro e 31 de Dezembro na estação de Circular Sul, de modo a minimizar o impacto que os valores anómalos que se registaram neste período, que se deveram a obras de construção civil que decorreram na via de trânsito junto à qual se situa a estação de Circular Sul, teriam nesta análise.

Para a estação de Circular Sul é ainda feita a comparação com três outras estações de tráfego, cada uma situada em diferentes aglomerações da Região Norte: Estações de Antas, Guimarães e Paredes, pertencentes às aglomerações de Porto litoral, Vale do Ave e Vale do Sousa, respectivamente.

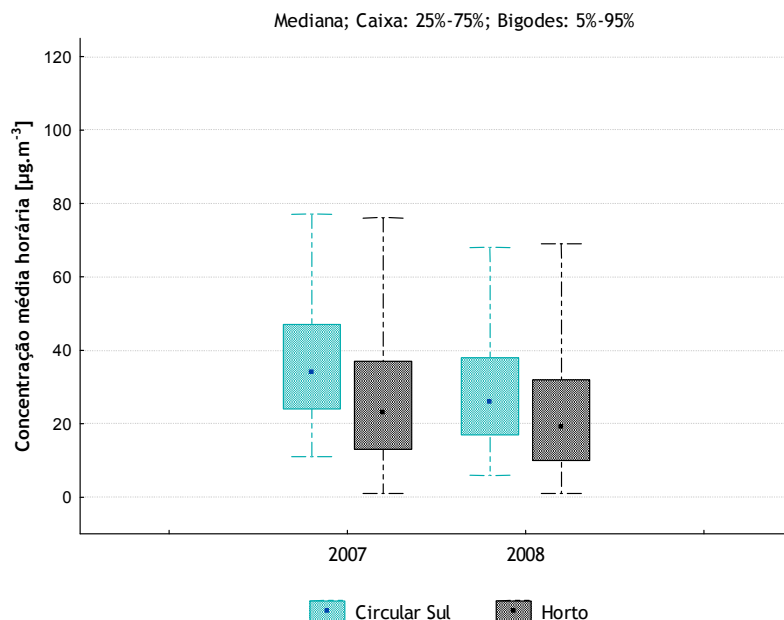


Figura 3.8: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, em 2007 e 2008.

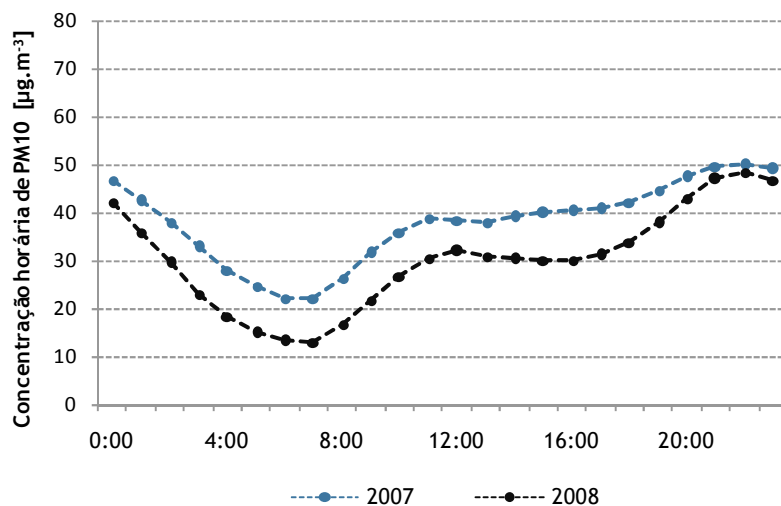


Figura 3.9: Perfis horários de concentração de PM10 na estação de Circular Sul, em 2007 e 2008.

Da análise da figura 3.8 é possível verificar que, em 2008, as concentrações médias horárias de PM10 medidas nas estações da aglomeração de Braga foram inferiores às registadas em 2007. O perfil horário (figura 3.9) mostra que, nestes dois anos, a variação das concentrações de PM10 ao longo do dia é muito semelhante, existindo apenas diferença em termos de magnitude das concentrações medidas.

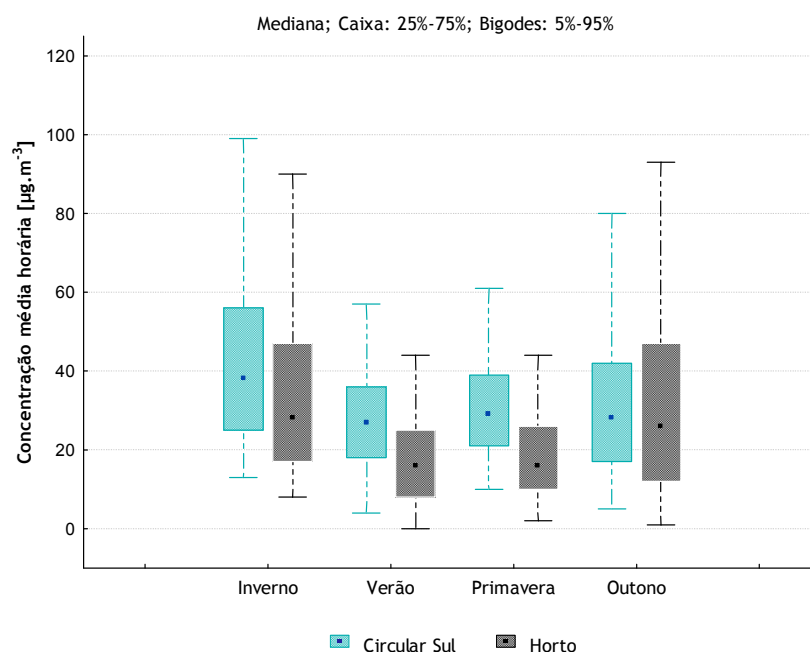


Figura 3.10: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para as diferentes estações do ano, entre 2007 e 2008.

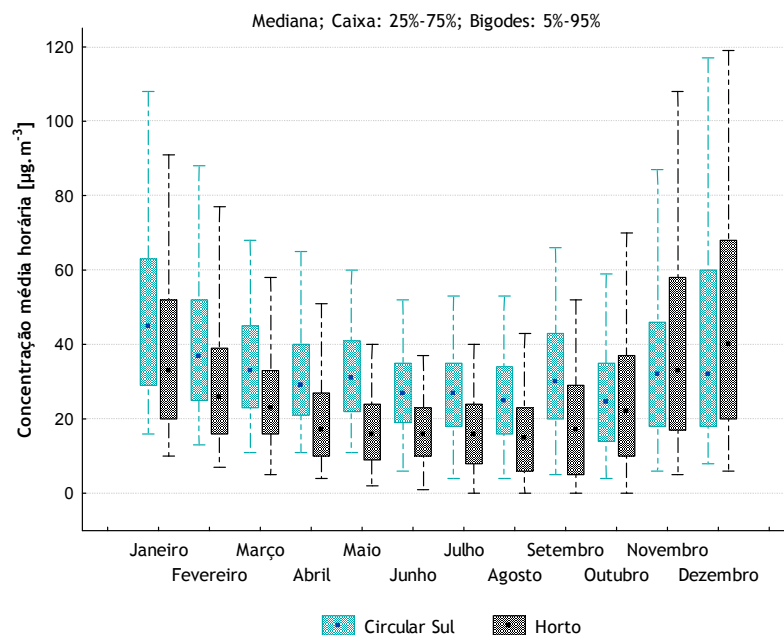


Figura 3.11: Distribuição mensal das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, entre 2007 e 2008.

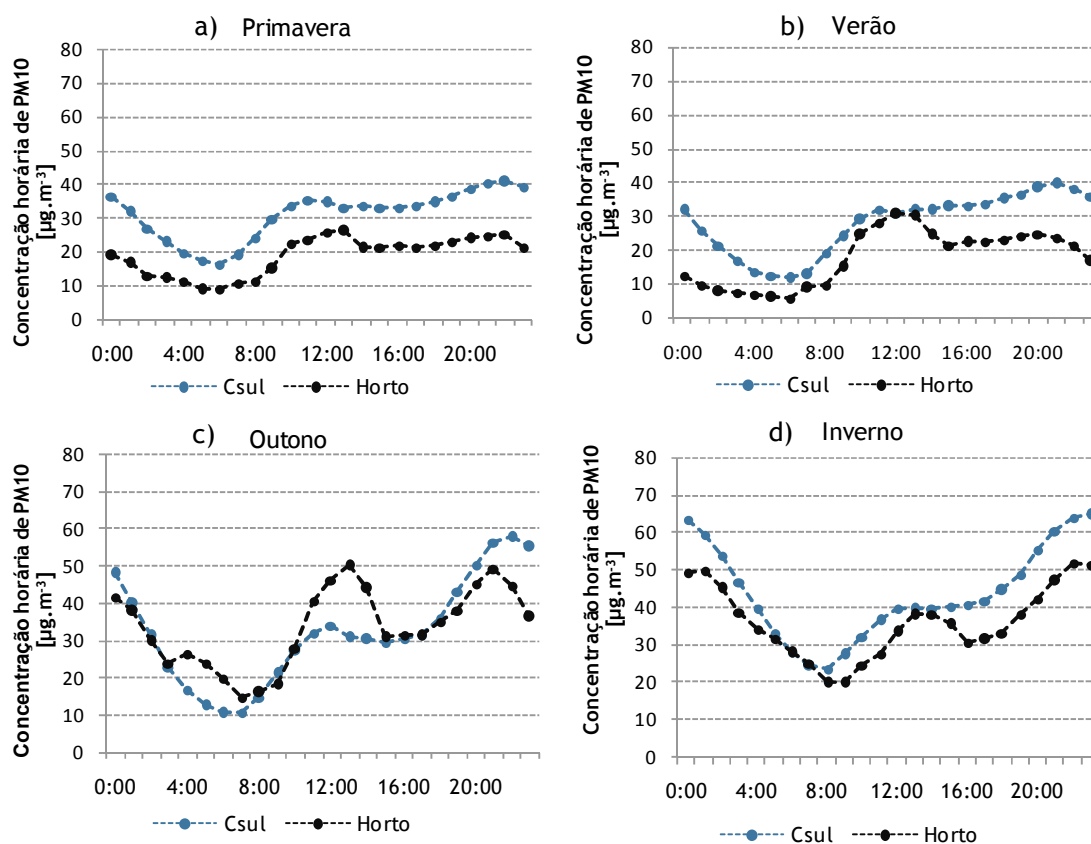


Figura 3.12: Perfis horários de concentração de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para a Primavera (a), Verão (b), Outono (c) e Inverno (d), entre 2007 e 2008.

Da análise das figuras 3.10 a 3.12, é possível verificar que as concentrações de PM10 registadas na estação de tráfego de Circular Sul são consistentemente superiores às da estação suburbana de fundo da mesma aglomeração - Horto. Tendo em conta a semelhança na variação dos perfis das duas estações, as diferenças de concentração registadas poderão ser justificadas pelo maior volume de emissões do tráfego rodoviário a que a estação de Circular Sul se encontra sujeita.

É no Outono e Inverno que se registam concentrações mais elevadas, registando-se concentrações mais baixas entre Abril e Agosto.

As elevadas concentrações de PM10 registadas no Outono e Inverno poderão ter como causas principais a maior utilização de sistemas de combustão para aquecimento, nomeadamente a combustão doméstica, decorrente do aumento do uso das lareiras que, na Região Norte, se estima serem responsáveis por cerca de 16% das emissões de material particulado (Borrego *et al.*, 2010b). A maior estabilidade atmosférica associada a fenómenos de inversão térmica e a diminuição da espessura da camada limite atmosférica, que impedem a dispersão adequada dos poluentes emitidos à superfície também contribuem para que ocorram concentrações mais elevadas neste período. Nos meses mais frios, mas com sol intenso, o ar próximo do chão é aquecido pelo calor da superfície do solo. Após o anoitecer ocorre um acentuado arrefecimento que é particularmente sentido nas camadas junto ao solo, apresentando as camadas atmosféricas superficiais temperaturas inferiores às observadas em maior altitude, criando-se uma situação de estabilidade elevada que impede a dispersão adequada dos poluentes emitidos à superfície.

A figura 3.12 mostra que as concentrações de PM10 atingem o mínimo entre as 6 horas e as 7 horas da manhã. Isto poderá ser explicado pela diminuição, durante a noite, das actividades antropogénicas, com destaque para o tráfego automóvel. O retomar da maioria das actividades humanas, potenciadoras da emissão de material particulado, repercute-se no aumento da concentração de PM10 ao início da manhã (a partir das 6-7 horas).

É evidente a existência de dois picos de concentração diária, mais pronunciados no Outono e Inverno, o primeiro a ocorrer entre 11h e as 13 horas e o segundo entre as 21h e as 23h (figura 3.12). Os valores elevados verificados nestes períodos deverão estar associados principalmente ao tráfego automóvel, no entanto, as emissões associadas a esta fonte não se revelam instantaneamente, havendo um desfasamento relativamente ao perfil de tráfego típico (No anexo G apresentam-se os perfis médios diários relativos à contagem de veículos registados nas principais vias existentes na área de abrangência da CCDR-N, segundo Borrego *et al.*, (2009b)).

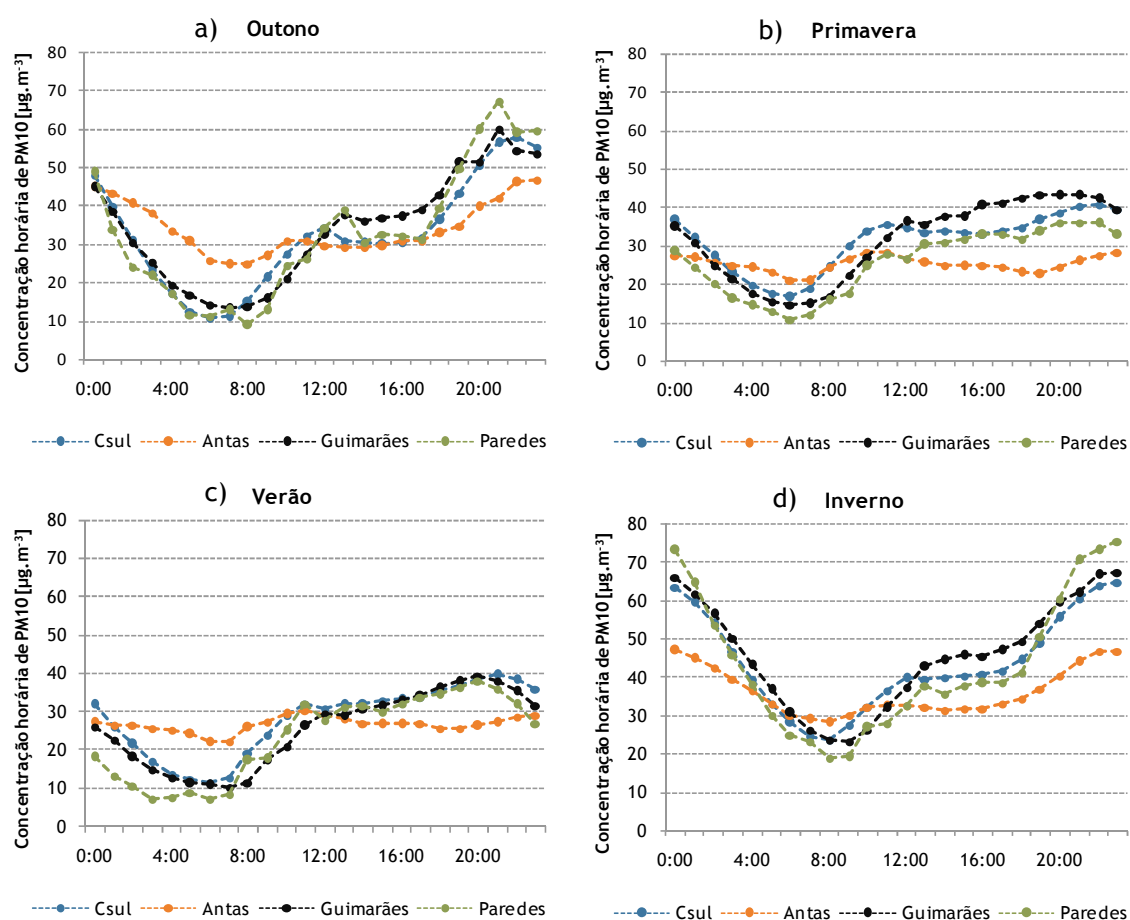


Figura 3.13: Perfis horários de concentração de PM10 nas estações de Circular Sul, Antas, Guimarães e Paredes, para a Primavera (a), Verão (b), Outono (c) e Inverno (d), entre 2007 e 2008.

Verifica-se, pela análise da figura 3.13, que os perfis de concentração horária de PM10 na estação de Circular Sul têm um comportamento semelhante aos verificados noutras estações de tráfego da Região Norte, o que indicia que estas estações são influenciadas pelo mesmo tipo de fontes de emissão de PM10.

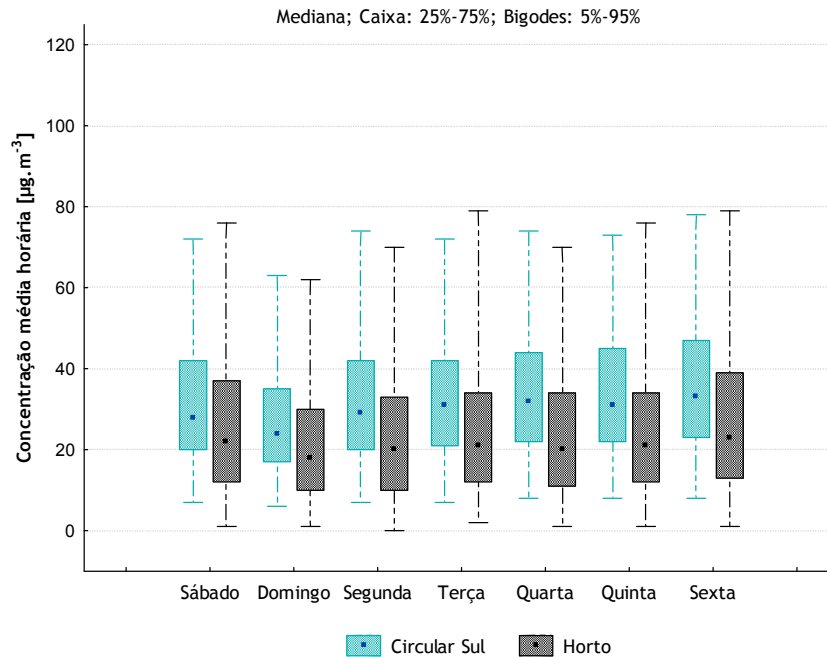


Figura 3.14: Distribuição das concentrações médias horárias de PM10 nas estações de Circular Sul e Horto, para os diferentes dias da semana, entre 2007 e 2008.

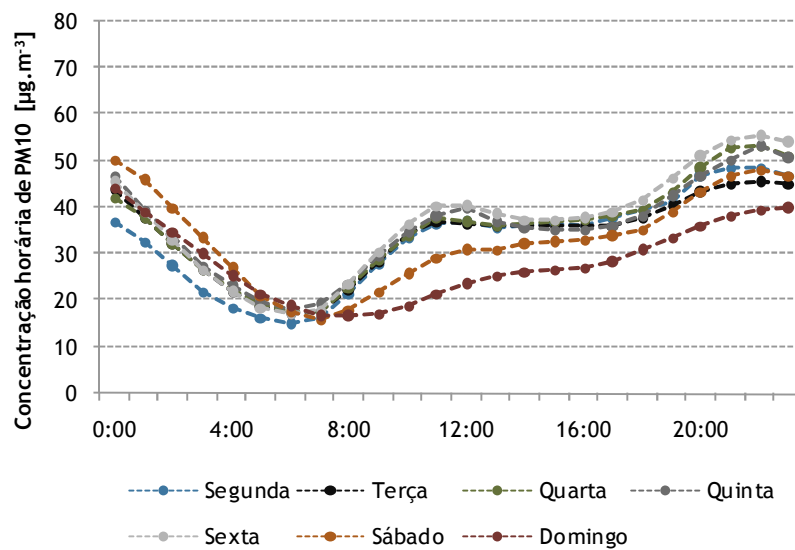


Figura 3.15: Perfis horários de concentração de PM10 na estação de Circular Sul, para os diferentes dias da semana, entre 2007 e 2008.

As actividades antropogénicas e, consequentemente, a emissão de material particulado a elas associada, tende a manter-se sensivelmente constante de segunda à sexta-feira, repercutindo-se nos perfis de concentração horária que, tal como observável na figura 3.15, são muito semelhantes durante estes dias. Ao fim-de-semana os perfis apresentam algumas diferenças, não

sendo notório o pico de concentração do meio-dia e verificando-se concentrações mais baixas, principalmente ao Domingo (figuras 3.14 e 3.15). Estas diferenças poderão dever-se principalmente às emissões do tráfego automóvel, cujo perfil aos fins-de-semana é substancialmente distinto do verificado nos dias úteis, havendo menor volume de trânsito e maior constância no número que veículos que circulam ao longo do dia.

3.3. População afectada

A estimativa da área onde a concentração de PM10 terá excedido os parâmetros previstos na legislação foi realizada tendo em conta o tipo de ambiente (urbana/suburbana/rural) e de influência (fundo/tráfego/industrial) que caracteriza as estações de qualidade do ar em análise. Para a determinação da área de representatividade recorreu-se a gamas de influência das estações de monitorização indicadas na literatura (EEA, 1999) (Tabela 3.3)

Tabela 3.3: Raio de representatividade das estações de monitorização de qualidade do ar (adaptado de EEA, 1999).

Tipo de estação	Raio de representatividade (m)
Tráfego	Não aplicável
Industrial	10 - 100
Fundo urbana	100 - 1000
Fundo suburbana suburbana	1000 - 5000

Considerou-se a área de influência de uma dada estação como a sua área de representatividade, sendo esta a área dentro da qual a concentração não difere mais de 20% da concentração medida na estação.

Assim, para cálculo da área influenciada pelas ultrapassagens do VL de PM10 entre 2005 e 2008 na estação de Horto, visto estar classificada como estação suburbana de fundo, foi assumido o raio de 1,5 km.

Relativamente às estações de tráfego, ao estarem localizadas em áreas onde os gradientes de concentração são muito acentuados, torna-se complexa a estimativa da área de representatividade destas estações, pois depende da zona envolvente à estação, da morfologia e das características das fontes de emissão.

Relativamente à Circular Sul, tratando-se de uma estação de tráfego, a estimativa da população afectada pelas ultrapassagens do VL foi efectuada assumindo um raio de influência de 0,3 km.

Estas estimativas devem ser interpretadas como uma indicação da ordem de grandeza da população afectada. Para uma aferição mais rigorosa seria necessário recorrer a uma extensiva campanha de monitorização nos locais adjacentes à estação ou à modelação atmosférica.

Nas Figura 3.16 e 3.17 estão representadas as áreas de influência estimadas, para as ultrapassagens verificadas no período 2005 - 2008 nas estações da aglomeração de Braga.

Para o cálculo da população afectada recorreu-se aos dados do “Census 2001” (URL 8), considerando as áreas de representatividade estimadas. Na tabela 3.4 são apresentados os valores da área e da população residente estimados, para as estações da aglomeração de Braga.

Tabela 3.4: Estimativa da área e população afectadas pelas ultrapassagens ao VL de PM10 entre 2005 e 2008.

Estação	Classificação	Raio de influência (km)	Área de influência (km ²)	População estimada (hab)
Circular Sul	Urbana de tráfego	0,3	0,28	450
Horto	Suburbana de tráfego	1,5	7,07	11300

É preciso ter em conta que para a estação de Horto parte das excedências ao VL diário, em 2007, terão ocorrido devido à prática de fumigação no Horto municipal no qual esta estação está instalada. Por este motivo, as concentrações de PM10 que se registaram no período em que decorreu esta prática não são representativas da área de influência de uma estação suburbana de fundo (classificação atribuída à estação de Horto), reflectindo apenas o impacto local de uma fonte de emissão atípica.

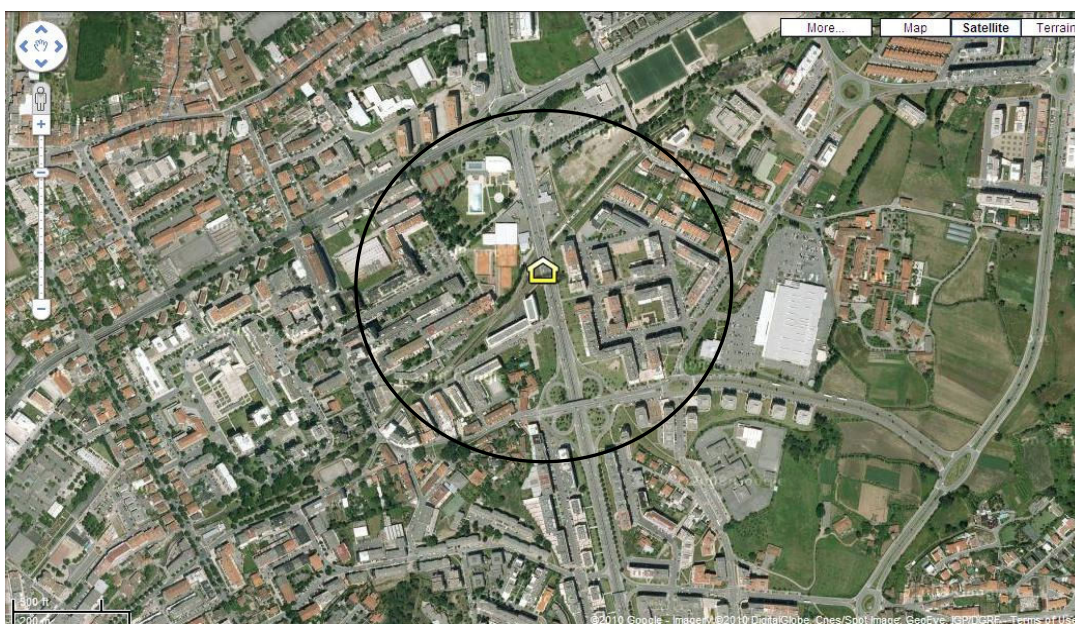


Figura 3.16: Representação da área (estimada) afectada pelas ultrapassagens aos valores-limite de concentração de PM10, face aos valores registados na estação de Circular Sul (adaptado de URL 9).

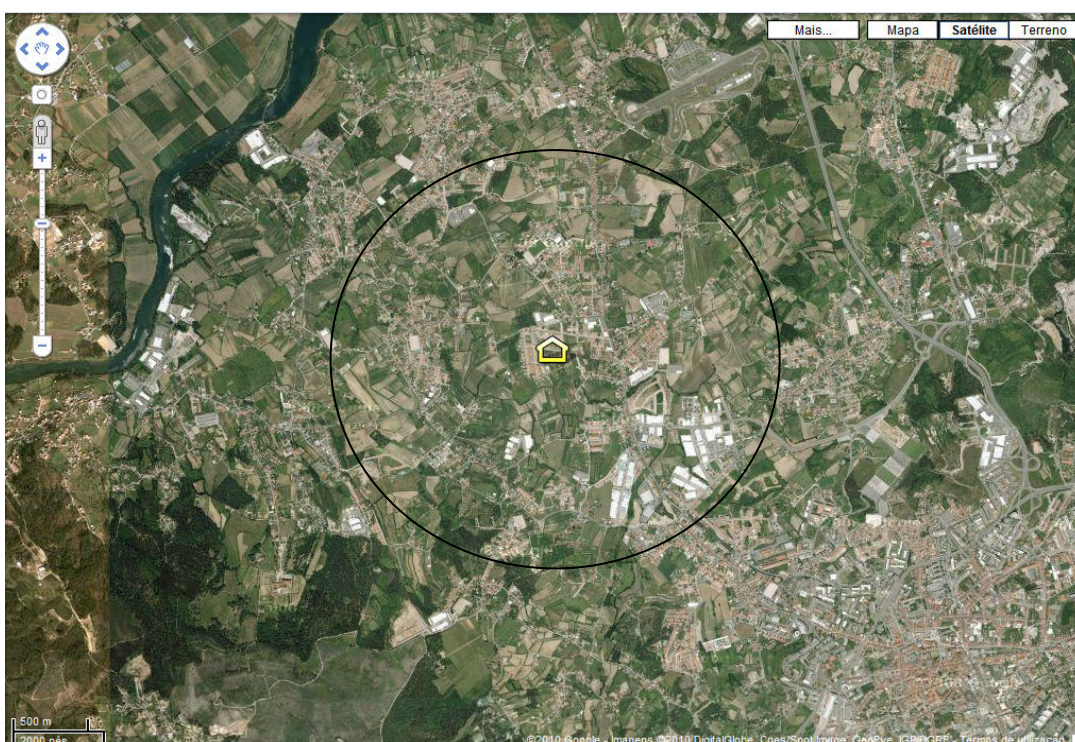


Figura 3.17: Representação da área (estimada) afectada pelas ultrapassagens aos valores-limite de concentração de PM10, face aos valores registados na estação de Horto (adaptado de URL 9).

4. Medidas para a redução das emissões de partículas a aplicar na aglomeração de Braga

Constatada a necessidade de redução da concentração de PM10 na aglomeração de Braga, torna-se necessário definir medidas para atingir este objectivo.

De seguida são descritas algumas medidas para as quais se estima que a sua implementação se traduzirá em benefícios relevantes na qualidade do ar na aglomeração de Braga, contribuindo para a redução das emissões de PM10 e, consequentemente, da sua concentração na atmosfera.

Algumas das medidas já se encontram em fase de implementação. São medidas de âmbito nacional ou regional que decorrem de obrigações legais em vigor, inclusive medidas definidas nos Programas de Execução da Região Norte e da Região de Lisboa e Vale do Tejo e aprovadas pelos Despachos n.º 20762/09 e 20763/09, de 16 de Setembro.

As medidas propostas foram seleccionadas tendo por base a caracterização da qualidade do ar para a aglomeração de Braga, bem como inventário de emissões realizado por Borrego *et al.* (2009b). Foram tidas também em consideração a sua eficiência ambiental e económica, a aceitação por parte das autoridades locais e do público em geral, com base nos exemplos da aplicação de medidas semelhantes no âmbito de outros Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar, mormente, os definidos para a Região Norte (Borrego *et al.*, 2006, 2008a).

4.1. Medidas direccionadas para o sector industrial/comercial

4.1.1. Entrada em vigor das Portarias que fixam VL de emissão de partículas mais restritivos, para a indústria e comércio, reforço da fiscalização e substituição dos sistemas de despoeiramento

As Portarias n.º 675/2009 e n.º 677/2009, de 23 de Junho, vieram estabelecer um valor-limite de emissão (VLE) para partículas mais restritivo, tendo passado de 300 mg.m⁻³ para 150 mg.m⁻³. A primeira Portaria é de aplicação geral e a segunda aplicável a instalações de combustão. Está ainda prevista a publicação de Portarias que definam novos VLE de aplicação sectorial.

Este VLE mais restritivo é imediatamente aplicável às novas instalações, havendo um prazo de adaptação de dois anos para as instalações existentes, ou seja, o VLE é de cumprimento obrigatório para todas as instalações a partir de 1 de Julho de 2011.

O reforço da fiscalização das fontes pontuais terá um papel preponderante no cumprimento das obrigações legais nesta matéria. A fiscalização é não só um importante mecanismo de controlo mas também uma medida de acção preventiva e pedagógica no que respeita ao cumprimento das obrigações legais, permitindo que, num cenário óptimo, todas as instalações realizem o autocontrolo das emissões atmosféricas e, caso necessário, tomem medidas para o cumprimento dos VLE aplicáveis.

Nesta perspectiva, a CCDR-N celebrou um protocolo com a GNR - Serviço Especial de Protecção da Natureza e do Ambiente (SEPNA) com o objectivo de reforçar a fiscalização ao nível das fontes industriais sujeitas a medição pontual, pelo que, constatados os problemas de qualidade do ar na aglomeração de Braga, este protocolo deverá abranger também os concelhos de Braga e Vila Verde.

A obrigação de cumprimento deste VLE mais restritivo levará a que, em algumas empresas, haja a necessidade de instalação de sistemas de redução das emissões ou substituição dos existentes por outros mais eficientes. Os filtros de mangas e os precipitadores electrostáticos têm eficiências de remoção de partículas bastante elevadas (acima de 99%), pelo que, sempre que técnica e economicamente viável, deve ser dada preferência a estes equipamentos, em detrimento dos ciclones que, para as PM10, têm normalmente eficiências de remoção menores.

Estas medidas são, consequentemente, complementares, visando a redução das emissões de um conjunto de fontes cuja contribuição para as emissões de PM10 na aglomeração de Braga é significativa.

4.1.2. Redução das poeiras de obras de construção civil

As obras de construção civil representam fontes significativas de partículas para a atmosfera, causando problemas de qualidade do ar a nível local. A influência das obras de construção civil a este nível é notória, por exemplo, nos dados obtidos em 2007 na estação de tráfego de Braga - Circular Sul. Em finais do ano de 2007 foi realizada uma intervenção na via junto a esta estação. Essa obra teve como consequência o levantamento da cobertura de asfalto da via, o que, fruto da ressuspensão provocada pela passagem dos veículos na via, originou concentrações elevadas de PM10 na atmosfera, que foram detectadas nesta estação.

Existem diversas medidas que podem ser implementadas para minimização das emissões de PM10 provenientes desta actividade. A CCDR-N promoveu a elaboração de um Manual de Boas Práticas em Obra, que identifica um conjunto de medidas que visam a diminuição das emissões de matéria particulada para a atmosfera decorrentes das actividades de construção e demolição (URL 10). Estas medidas deverão ser divulgadas junto das empresas de construção civil procedendo-se, sempre que possível, a acções prévias de formação e sensibilização. Neste sentido, as associações de industriais da construção civil terão um papel importante na

divulgação junto dos associados. Os municípios poderão também incorporar as medidas sugeridas no supracitado manual no âmbito do RMEU (Regulamento Municipal de Edificação e Urbanização), nomeadamente nas revisões obrigatórias por força de entrada em vigor da Lei n.º 60/2007, de 4 de Setembro.

4.2. Medidas direccionadas para o sector dos transportes

O tráfego rodoviário tem sido reportado como a principal fonte de poluição atmosférica, nomeadamente no caso das partículas, sendo apontado como o responsável pela grande maioria das situações de excedência, seguido pela indústria (Nagl *et al.*, 2006).

Pela análise efectuada anteriormente e com base no inventário de emissões realizado por Borrego *et al.* (2009b), constata-se que as emissões do tráfego rodoviário influenciam fortemente as concentrações de PM10 registadas na estação de Circular Sul, contribuindo para as ultrapassagens aos VL.

Existe uma grande variedade de medidas de gestão do tráfego automóvel com elevado potencial de redução das emissões de PM10. Muitas destas medidas estão inter-relacionadas, pelo que a facilidade de implementação e o sucesso de algumas medidas depende, pelo menos parcialmente, da aplicação de outras. Por este motivo, as estratégias de transporte e de melhoria de qualidade do ar devem ser desenvolvidas numa perspectiva integrada, assegurando a coerência entre planos de mobilidade urbana e planos de gestão da qualidade do ar, maximizando os objectivos que se pretendem atingir nestas duas vertentes (Parkhurst, 2004).

A União Europeia tem vindo a apoiar o desenvolvimento de políticas sustentáveis em matéria de mobilidade urbana, promovendo o intercâmbio das melhores práticas e fornecendo financiamento, através os Fundos Estruturais e de Coesão. Têm também surgido diversas iniciativas neste âmbito, apoiando e avaliando a implementação de estratégias de desenvolvimento urbano sustentável, como por exemplo o CIVITAS (URL 11).

Neste sentido, as medidas deverão, preferencialmente, ser englobadas numa estratégia única de gestão do tráfego automóvel e implementadas de forma complementar, como parte integrante de um plano de mobilidade, de modo a garantir uma efectiva redução das emissões desta fonte, em paralelo com a optimização da mobilidade nos centros urbanos.

Descrevem-se, de seguida, medidas de gestão do tráfego/frota automóvel, cuja implementação se estima poder trazer benefícios relevantes ao nível da redução das emissões de PM10.

4.2.1. Incentivos à renovação da frota de veículos pesados de passageiros

Os veículos pesados de passageiros, nomeadamente os mais antigos, têm associados factores de emissão de PM10 elevados, induzidos também pela reduzida velocidade de circulação verificada nos centros urbanos, tornando-se uma fonte de emissão significativa deste poluente.

No âmbito do acordo estabelecido entre o Governo e a Associação Nacional de Transportadores Rodoviários Pesado de Passageiros - ANTROP - em Agosto de 2008 (Despacho n.º 21439/2008, de 18 de Agosto), foram adoptadas as seguintes medidas de apoio ao transporte público rodoviário de passageiros:

- Incentivos financeiros à renovação da frota - em 2008 foi reforçada pontualmente a dotação orçamental aprovada nos anos anteriores para incentivo à renovação de frotas, sendo o valor anual habitual de 4 M€, e o valor pontual, em 2008, de 7 M€;
- Incentivo fiscal à renovação de frota - isenção total de tributação em caso de venda de veículos afectos ao transporte público de passageiros, com lotação igual ou superior a 22 lugares, no pressuposto do reinvestimento na aquisição de veículos afectos à mesma finalidade. Os veículos a adquirir devem ser novos, com data de fabrico de, pelo menos, 2008 e devem cumprir a norma ambiental Euro V ou superior. Esta medida entrou em vigor com a Lei do Orçamento do Estado para 2009 (Lei n.º 64-A/2008, de 31 de Dezembro).

Tendo em conta os efeitos esperados em matéria de renovação das frotas abrangidas, espera-se uma melhoria do desempenho ambiental do sector em virtude da utilização de veículos pesados de passageiros com menores emissões associadas.

4.2.2. Redução das emissões de partículas nos transportes pesados de mercadorias

Na Região Norte, os veículos pesados de mercadorias representam apenas cerca de 2% do parque automóvel, no entanto, as emissões de PM10 a eles associados são expressivas, sendo uma das categorias que mais contribui para a emissão deste poluente. Para tal, muito contribui o facto de a frota ser maioritariamente antiga (mais de 80% são veículos de categoria EURO II ou anterior) (Borrego *et al.*, 2009b).

A diminuição das emissões de PM10 por parte dos veículos de transporte de mercadorias poderá ser melhorada através da aquisição de veículos novos, de preferência equipados com novas tecnologias de redução de emissões, por utilização de combustíveis com menores emissões associadas ou instalação de sistemas de despoluição de fim de linha (como filtros de partículas (FP)), sendo assim possível a reconversão de frotas antigas.

Nos veículos a gasóleo, os filtros de partículas reduzem cerca de 90%, em massa, das emissões deste poluente, apresentando uma eficiência de remoção superior a 99% para partículas entre os 10 e os 1000 nm (Sadler consultants, 2006; Matter *et al*, 1999; Tente, 2009).

A adopção de filtros de partículas, em particular para frotas cativas de viaturas pesadas, tem sido uma das políticas e medidas mais frequentemente aplicadas no âmbito de Planos e Programas para a melhoria implementados noutros países. Tal deve-se, em parte, aos seus bons resultados em termos de análise custo-benefício, isto é, boas reduções de emissões poluentes a um custo bastante aceitável (Lahl e Steven, 2005, Schrooten *et al.*, 2006). Neste contexto, o apoio governamental à melhoria do desempenho ambiental do sector dos transportes é importante para complementar toda a estratégia, motivando e criando melhores condições para a colocação de filtros de partículas em veículos pesados. Neste sentido, foi definido um conjunto de acções com vista à implementação desta tecnologia, nomeadamente o apoio à aquisição de sistemas de filtros de partículas.

Após uma breve análise custo-benefício que indicava que a aposta nesta tecnologia poderia desempenhar um papel relevante em matéria de redução de emissões de partículas em suspensão na atmosfera, foram efectuados testes recorrendo a filtros de partículas disponibilizados por três fabricantes/revendedores, com os quais foram assinados protocolos de colaboração. Estes testes envolveram um conjunto total de 12 veículos, 6 na Área Metropolitana do Porto e 6 na área Metropolitana de Lisboa e decorreram entre Abril e Julho de 2009, tendo-se concluído que, após instalação dos filtros de partículas, as viaturas testadas cumpriram o nível de emissões EURO V, independentemente do seu nível inicial de emissões. Constatou-se ainda que as soluções utilizadas estão já num estágio de desenvolvimento e de aplicação no terreno bastante avançado, permitindo credibilizar estas tecnologias em termos de desempenho na redução das emissões de partículas em suspensão na atmosfera, sem a implicação de alterações substanciais às condições de funcionamento e de exploração das viaturas (Tente, 2009).

Dados os resultados positivos destes testes, o Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P. (IMTT) fez sair, a 15 de Junho de 2009, a Deliberação n.º 1640/2009, a qual define as regras para aprovação dos filtros de partículas a instalar no parque nacional de veículos pesados de mercadorias, em particular nos veículos de categoria N2 (entre 3,5 e 12 toneladas de peso bruto) e N3 (com peso bruto superior a 12 toneladas).

Esta Deliberação representa um passo crucial para que se possa começar a aplicar esta tecnologia em Portugal e refere, que, para os filtros poderem ser instalados, devem ser aprovados pelo IMTT. Para efeitos da aprovação deve ser apresentado relatório de ensaio efectuado por laboratório acreditado que comprove que o modelo de filtro produz uma efectiva redução na emissão de massa de partículas. A apresentação deste relatório é dispensada se os filtros forem correspondentes a um modelo com aprovação concedida por outro Estado-membro, pela Turquia ou por um Estado subscritor do Acordo sobre o Espaço Económico Europeu.

A Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 104/2008, de 1 de Julho, surgiu com o objectivo de promover a renovação das frotas dos transportes rodoviários de mercadorias por conta de outrem. Este documento determinou que seriam apoiados, entre outros, o reequipamento de veículos por instalação de filtros de partículas.

Esta medida foi acompanhada de uma alteração ao Decreto-Lei n.º 257/2007, de 16 de Julho, através do Decreto-Lei n.º 137/2008, de 21 de Julho, no sentido de se considerar “mais novo” (em 5 anos), para efeito de cálculo da idade média admissível da frota, o veículo em que tenha sido instalado um filtro de partículas.

Na sequência da RCM acima referenciada, entre 9 de Julho e 15 de Outubro de 2009, estiveram abertas candidaturas com o objectivo de permitir que as empresas de transporte rodoviário de mercadorias por conta de outrem adoptassem medidas que contribuíssem para reduzir a emissão de partículas poluentes, nomeadamente a compra de filtros de partículas (a Região NUTS II de Lisboa não ficou afectada a estes incentivos).

Face ao exposto, estima-se que a adesão significativa a esta medida terá um impacto relevante em termos de redução das emissões de PM10 por parte do tráfego automóvel.

4.2.3. Proibição parcial da circulação de veículos pesados de mercadorias

A aplicação de restrições ao tráfego de veículos pesados de mercadorias é, usualmente, uma medida que apresenta uma melhor relação custo-eficácia do que as restrições aplicadas a outros tipos de veículos (Defra, 2009, 2009b).

A restrição de acessos é, normalmente, a abordagem mais prática para gerir as emissões dos pesados de mercadorias. No entanto, poderá ser possível regular uma parte significativa do tráfego através do desenvolvimento de esquemas de controlo (Defra, 2009b).

Neste sentido, esta medida visa a proibição parcial da circulação de veículos pesados de mercadorias nos centros urbanos, consoante os seguintes critérios:

- Durante as horas de ponta;
- Em alternativa, em certos dias da semana;
- Em alternativa, aos veículos com categoria EURO II ou inferior (ano de construção anterior a 2000).

O último critério objectiva que o transporte de mercadorias para o centro da cidade passe a ser efectuado por veículos com menores emissões de PM10, sem impor restrições de circulação ao nível temporal. Neste caso, a identificação dos veículos que cumpram o critério estabelecido poderá ser feita, por exemplo, através do número de matrícula.

O controlo e fiscalização do cumprimento dos requisitos estabelecidos poderão ser realizados através de métodos manuais, onde é reforçada a inspecção visual aos veículos em circulação ou estacionados nas áreas abrangidas pelo esquema e/ou recorrendo a câmaras digitais ou de reconhecimento automático do número de matrícula. Poderá ser instalada uma rede de câmaras nas vias principais, nas zonas limite de aplicação do esquema.

De forma complementar, deve ser equacionada a construção de uma central periférica de recepção de mercadorias, que permita a optimização logística respeitante aos serviços de transporte de mercadorias no centro urbano, de forma a diminuir os quilómetros percorridos.

4.2.4. Renovação das frotas de veículos de recolha de Resíduos Sólidos Urbanos

Os veículos de recolha de resíduos sólidos urbanos (RSU) são elementos de tráfego que contribuem para a degradação da qualidade do ar das cidades. A antiguidade da frota é um factor de grande peso. De acordo com uma inquirição realizada à Câmara municipal de Braga, constatou-se que cerca de metade da frota de veículos de recolha de RSU, pertencente à empresa municipal AGERE - Empresas de águas, efluentes e resíduos de Braga, em 2008, era antiga (veículos Pré - EURO, EURO I e EURO II, de construção anterior a 2000). A circulação deste tipo de veículos, a velocidades baixas, no centro das cidades, contribui também para acentuar as emissões de PM10 associadas à mesma e, consequentemente, para o aumento da concentração atmosférica deste poluente.

Como forma de diminuir as emissões associadas a esta fonte, deverão ser introduzidos sistemas de controlo de emissões nos veículos antigos, nomeadamente filtros de partículas (Tente, 2009), podendo também promover-se a alteração do combustível utilizado ou a substituição dos veículos mais antigos por outros que cumpram as normas Euro mais recentes.

Complementarmente, deverá tentar optimizar-se as rotas e periodicidade de recolhas dos RSU, bem como a frota associada, no sentido diminuir o número de veículos em circulação, a distância total a percorrer e, consequentemente, as emissões de PM10. Associados aos benefícios ambientais há também que realçar os benefícios económicos decorrentes deste processo.

4.2.5. Partilha de automóveis

A partilha de viagens automóveis é uma iniciativa que tem sido posta em prática em diversos países da Europa, como forma de diminuir o número de veículos em circulação e, consequentemente, as emissões atmosféricas inerentes.

Existem dois conceitos associados à partilha de automóveis:

- *Car sharing*: é um sistema onde uma frota de carros é propriedade de um grupo de utilizadores, que podem estar organizados numa simples comunidade de vizinhos ou em

empresas especialmente criadas para o efeito. A frota é disponibilizada para utilização do grupo, e os custos da sua manutenção são controlados por um organizador. Este tipo de iniciativas tornou-se popular nos Estados Unidos da América durante a 2ª Guerra Mundial, altura em que era obrigatória a poupança de combustível, por razões predominantemente económicas. Actualmente, existem mais de 600 cidades no Mundo onde se pratica o *car sharing*. No Porto, a Transdev lançou recentemente um serviço de *car-sharing*, apelidado de Citizenn.com (URL 13). Existem também empresas que comercializam software para gestão de frotas, baseando-se neste conceito (URL 14);

- *Car pooling*: consiste no uso partilhado de um veículo, comumente utilizado por colegas de trabalho, com o objectivo de dividir despesas. A criação de uma página na Intranet de cada empresa poderá pôr este plano rapidamente em prática, com consequências ao nível da diminuição do tráfego e, logo, das emissões poluentes. Actualmente, faz-se uso de novas tecnologias como a Internet para promover o *car pooling* entre pessoas desconhecidas. Neste caso, o utilizador apenas terá de se registar e fornecer informações acerca do tipo de viagem que costuma ou pretende fazer e do período para a sua realização, para, de uma forma simples e imediata, receber informação acerca de outros utilizadores com os mesmos interesses. Em Portugal, existem algumas páginas *web* desta natureza (URL 15, URL 16, URL 17).

Este tipo de iniciativas deverá ser apoiado e incentivado, nomeadamente pelas Câmaras Municipais, através, por exemplo, de campanhas de informação e promoção junto das empresas públicas e privadas, assim como do público em geral.

4.2.6. Vias de Alta Ocupação

As Vias de Alta Ocupação (VAO) são faixas da rodovia que só podem ser utilizadas por veículos com um determinado número de ocupantes e podem ser implementadas em alguns dos principais acessos aos centros urbanos por transporte individual (TI), assim como nas principais vias de circulação no interior das cidades, como é o caso da Avenida Frei Bartolomeu dos Mártires, onde se localiza a estação de Circular Sul. Estas vias poderão também ser utilizadas por transportes públicos, motociclos e veículos eléctricos, por exemplo. A existência destas vias poderá ainda tornar-se exclusiva dos veículos de socorro, em situações de acidente ou outras emergências.

Na Figura 4.1 representa-se uma Via de Alta Ocupação nos Estados Unidos.



Figura 4.1: Via de Alta Ocupação sinalizada com um símbolo em forma de diamante nos Estados Unidos (adaptado de URL 18).

Nos Estados Unidos da América estas vias já existem desde os anos 60 e têm, na sua maioria, atingido os objectivos a que se propõem, que passam pela redução do número de veículos em circulação ao encorajar o *car pooling*, através da poupança em tempo de viagem, combustível e custos de manutenção do veículo (URL 19). O aumento médio da taxa de ocupação por veículo verificado em iniciativas em alguns países é de 10 a 15% (KBR, 2004).

A Figura 4.2 representa uma vista aérea da Avenida Frei Bartolomeu dos Mártires, que possui 3 faixas de rodagem em cada sentido, exemplo de uma das vias onde de poderá ser estudada a possibilidade de uma das faixas ser de alta ocupação.



Figura 4.2: Fotografia da Avenida Frei Bartolomeu dos Mártires, Braga.

A implementação destas vias poderá ser permanente ou efectuada apenas nas horas de ponta. A primeira opção poderá trazer os seguintes benefícios (URL 19):

- Menores taxas de utilização indevida destas vias;
- Menor confusão criada pelos horários de funcionamento;
- Maiores taxas de ocupação ao longo de todo o dia;
- Menor tendência para a ocorrência de acidentes.

O funcionamento destas vias apenas nas horas de ponta poderá trazer como benefícios (URL 19):

- Evitar a percepção de que estas vias são subutilizadas fora dos períodos de pico de tráfego;
- Optimizar o uso de todas as via fora dos períodos de pico.

Apesar de tenderem a reduzir o número de veículos em circulação e a distância percorrida pelos mesmos, poderão surgir alguns efeitos negativos, tais como a congestionamento por diminuição do número de faixas disponíveis para os restantes veículos. Por este motivo, torna-se imprescindível que esta medida seja desenvolvida numa perspectiva integrada com as restantes medidas de gestão de tráfego, de forma a serem atingidos os objectivos pretendidos, nomeadamente, a diminuição do volume de tráfego. Neste sentido, esta medida deverá também ser acompanhada por uma forte campanha promocional e de sensibilização, de forma a anunciar a abertura destas vias e a educar os condutores sobre o uso das mesmas, bem como promover a sua utilização.

4.2.7. Melhorias na rede de transportes colectivos

As emissões de PM10 provenientes do transporte rodoviário contribuem significativamente para as excedências aos VL, pelo que a alteração do modo de deslocação da população, através da utilização dos transportes públicos em detrimento do transporte individual, ao reduzir o número de viagens e da distância percorrida por veículos ligeiros de passageiros, contribuirá para a redução das emissões desta fonte.

O fomento da utilização dos transportes públicos, para que passem a ser vistos como uma opção de transporte viável e economicamente apelativa, poderá passar por medidas como:

- A implementação de infra-estruturas de uso simples e seguras;
- O aumento da sua área de abrangência e da frequência, com horários e percursos adequados e o cumprimento dos mesmos;
- O aumento da rapidez dos serviços prestados, através, por exemplo, da criação de faixas *Bus* ou da utilização das VAO por parte dos transportes públicos;
- A renovação da frota de veículos, com menores emissões, mais seguros e confortáveis;
- Incentivos financeiros - redução do preço dos passes, preços especiais para determinadas faixas etárias;
- Campanhas de promoção e informação sobre a disponibilidade dos transportes públicos.

Esta é uma medida imprescindível para o sucesso de um sistema de transporte urbano sustentável, pois é uma das alternativas mais viáveis ao transporte individual, pelo que se estima

que poderá trazer benefícios ambientais relevantes, nomeadamente ao nível da redução das concentrações de PM10 nos centros urbanos.

4.2.8. Outras medidas relacionadas com a mobilidade urbana

Existem outras medidas que, quando implementadas em conjunto com as medidas referidas anteriormente, poderão contribuir para a diminuição do tráfego automóvel e, consequentemente, das emissões de PM10.

Fomento do uso da bicicleta

O fomento do uso da bicicleta poderá levar à redução do uso da viatura própria e complementar a utilização dos transportes públicos. O incentivo à utilização deste meio de transporte passa por tornar esta alternativa mais atractiva através de medidas como:

- Desenvolvimento de infra-estruturas que promovam a sua utilização, interligando-as com outros meios de transporte público;
- Criação pontos de aluguer;
- Campanhas de sensibilização que fomentem o uso deste meio de transporte.

Planos colectivos de viagem para empresas

Os planos colectivos de viagem para empresas, com o objectivo de actuar sobre a mobilidade dos trabalhadores de e para os seus locais de trabalho, destinam-se a empresas ou zonas industriais e têm como objectivo alterar a forma como os trabalhadores fazem as suas viagens diárias, incentivando uso de transportes colectivos e a partilha de viagens, como alternativa ao transporte individual. Para incentivar a adopção destes planos deverão ser realizadas campanhas de sensibilização junto das empresas ou associações industriais, bem como ajustar a oferta de transportes públicos/colectivos para as zonas industriais.

Fomento dos ciclomotores eléctricos

Os ciclomotores apresentam vantagens relativamente à fluidez do tráfego e mobilidade, ao serem muito mais manejáveis que um carro, ocuparem menos espaço, serem mais económicos e terem menores emissões associadas. Para estimular o uso dos ciclomotores deverão ser realizadas campanhas de sensibilização e criadas infra-estruturas de apoio (parques de estacionamento gratuitos para motociclos, por exemplo).

Gestão dos locais de estacionamento

A gestão dos locais de estacionamento é uma medida que poderá complementar a implementação de outras medidas de tráfego, contribuindo para a redução das viagens em viaturas privadas no interior das cidades.

Em alguns países, as operações de gestão de estacionamento têm sido ajustadas de forma a atingir determinados objectivos ambientais, a encorajar o uso dos transportes públicos e a incentivar o uso de veículos com emissões mais reduzidas em detrimento de veículos mais poluentes.

Algumas das abordagens para gestão do estacionamento passam pela construção e ampliação de parque em zonas que facilitem o intercâmbio entre o transporte privado e o colectivo, sendo um complemento imprescindível a outras medidas, tais como restrições de acesso e diminuição do estacionamento dentro das cidades. Neste sentido, estes parques deverão:

- Ser considerados como uma extensão da rede de transporte público, devendo ser ponderada a possibilidade de criação de tarifas conjuntas para o estacionamento e para os transportes públicos;
- Oferecer ligações com transportes públicos rápidos e frequentes, com zonas de espera cómodas onde haja informação sobre os mesmos em tempo real, tornando atractiva a sua utilização;
- Ter capacidade suficiente e vigilância, pelo menos durante o período de funcionamento dos transportes públicos.

O incentivo à utilização de veículos menos poluentes pode passar pela implementação de tarifas especiais, com descontos em bilhetes sazonais para veículos eléctricos e preços baseados na cilindrada/factores de emissões dos veículos (para veículos que, por exemplo, cumpram uma determinada norma Euro, no mínimo). Os incentivos dados aos veículos com emissões reduzidas para estacionamento têm sido baseados ou adaptados de outros esquemas de estacionamento existentes, nomeadamente, o residencial e os passes/bilhetes sazonais. Deste modo reduzem-se os custos associados à implementação da medida (Defra, 2009a).

4.3. Lavagem das ruas

Em ambientes urbanos, a emissão de PM₁₀ por fontes não relacionadas com a exaustão dos veículos, tais como a ressuspensão provocada pelo tráfego rodoviário, é comparável, ou ainda maior, que esta última (Amato *et al.*, 2009).

Na Alemanha, Pregger e Friedrich (2002) estimaram as emissões totais de PM10 provenientes da ressuspensão como sendo cerca de 25% superiores às emissões ao nível do escape, utilizando o modelo US EPA AP-42 modificado, enquanto Duering e Lohmeyer (2003) derivaram factores de emissão de medições que fizeram em diversos locais e concluíram que as emissões totais de PM10 eram seis vezes superiores às emissões de escape (CAFÉ, 2004). A influência destas emissões decresce substancialmente caso se meçam fracções granulométricas mais pequenas como PM2,5.

Por conseguinte, a lavagem das vias de tráfego poderá ser uma forma de remover as partículas depositadas no pavimento e diminuir o fenómeno de ressuspensão, seja através do arrastamento das partículas para os sistemas de recolha de águas pluviais ou pelo aumento da massa e das forças de tensão das mesmas (Amato et al., 2009).

Ao longo dos últimos anos têm vindo a ser efectuados diversos estudos neste campo, no entanto, os resultados não são conclusivos.

Em Lisboa, entre os dias 15 e 30 de Setembro de 2005, foi efectuado um reforço da lavagem da Avenida da Liberdade com o objectivo de realizar um estudo sobre o impacto desta acção na redução dos índices de poluição decorrentes do tráfego automóvel naquela via, concluindo-se que esta prática aparenta ter uma influência positiva, embora não muito significativa, na redução dos níveis de partículas (Ferreira *et al.*, 2006).

Segundo Amato *et al.* (2009) a lavagem do pavimento numa rua de Barcelona permitiu reduzir entre 7 e 10 % a concentração de PM10 nessa zona. A análise da composição química das PM10 corroborou a diminuição no efeito de ressuspensão.

Outros trabalhos apontam para que esta medida tenha um impacto reduzido (Norman e Johanson, 2006) ou mesmo nulo (Chang *et al.*, 2005) na concentração de PM10.

A implementação desta medida passará pelo reforço da lavagem das vias nos centros urbanos, principalmente naquelas em que se verifica maior volume de tráfego. Idealmente, deve-se promover a utilização de água não potável.

Uma vez que o sucesso desta medida depende em larga escala de factores específicos da zona a ser sujeita à lavagem, é recomendável a realização de campanhas para determinar a sua eficácia, podendo utilizar-se como caso de estudo a Avenida Frei Bartolomeu dos Mártires, aproveitando o facto de ser possível obter os dados de concentração de PM10 através da estação de qualidade do ar lá instalada - Circular Sul.

4.4. Certificação de equipamentos de combustão residencial

A combustão residencial é uma importante fonte de emissão de material particulado, estimando-se que, em Portugal, seja responsável por 18% das emissões de PM10, 98% das quais originadas

pela combustão de biomassa (Borrego *et al.*, 2010b). Segundo os mesmos autores, em Janeiro de 2007, o contributo das emissões destas fontes para a concentração atmosférica de PM₁₀ variou entre os 0 e os 14 $\mu\text{g.m}^{-3}$, com uma contribuição média de 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ na área de Lisboa e de 6 $\mu\text{g.m}^{-3}$ na região do Porto.

De facto, nas noites de Inverno, detectam-se concentrações elevadas de partículas nas estações urbanas de qualidade do ar, o que demonstra o papel importante que esta fonte desempenha nos níveis de concentração de PM₁₀ registados nesta época do ano.

Consequentemente, a regulação deste sector, nomeadamente através da certificação de equipamentos com emissões reduzidas, contribuirá para uma melhoria significativa da qualidade do ar (quer no ar exterior quer no interior das habitações).

Nos Estados Unidos da América, existem, desde 1988, lareiras certificadas pela EPA (Environmental Protection Agency), que têm associadas reduções de matéria particulada na ordem dos 94%, através de uma queima mais eficiente da madeira e dos gases de exaustão, que atravessam vários estágios de combustão (URL 20).

Na figura 4.3 esquematiza-se o funcionamento de lareiras certificadas, catalíticas e não catalíticas.

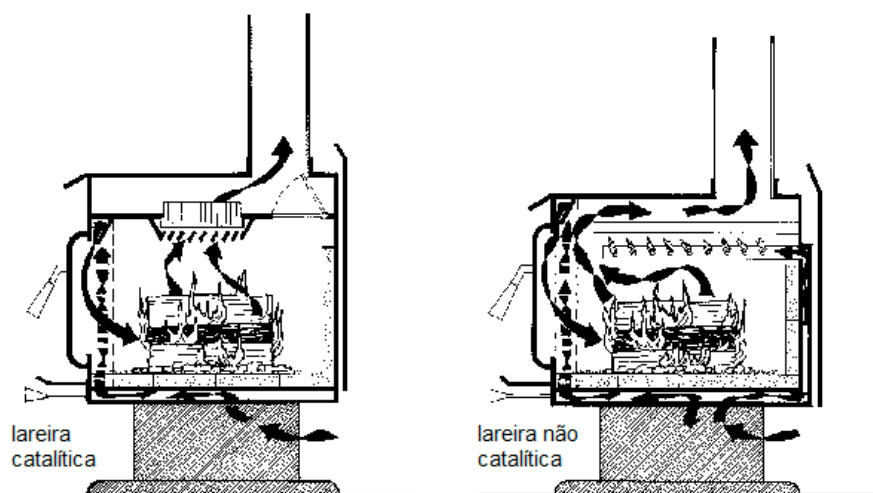


Figura 4.3: Esquema de funcionamento de lareiras certificadas pela EPA, em utilização nos Estados Unidos da América (adaptado de URL 20).

A nível Europeu e Nacional, existem algumas normas relacionadas com a certificação de lareiras e testes necessários a esta mesma certificação. Contudo, nenhuma destas normas contempla o poluente partículas nem se perspectiva uma revisão normativa ao nível europeu que, a curto prazo, o inclua.

Assim, para que seja possível certificar lareiras é necessário dispor de um normativo de referência. Deste modo, para reduzir as emissões deste sector e conseguir melhorias da qualidade do ar exterior e também interior, é necessário desenvolver as seguintes etapas:

- Definir os métodos de medição de partículas nos equipamentos através de uma norma técnica;
- Criar uma norma para certificar os equipamentos de combustão residencial quanto às suas emissões de partículas;
- Definir valores-limites de emissão de partículas através de regulamentação nacional;
- Após a elaboração da referida norma, tornar obrigatória a certificação destes novos equipamentos, através de diploma legislativo específico ou por alteração do Regulamento Geral de Edificação e Urbanização (RGEU);
- Complementar esta obrigatoriedade para equipamentos novos com sistemas de incentivo, nacionais ou regionais, de substituição progressiva dos equipamentos antigos por equipamentos certificados.

Neste momento, encontram-se em fase inicial de desenvolvimento os trabalhos conducentes à elaboração da norma referida no ponto 1.

4.5. Sensibilização Ambiental

Muitas das medidas apresentadas e outras que visam a redução de PM10 passam pela alteração de hábitos há muito enraizados na população. Neste sentido, a sensibilização das populações, empresários ou autarquias são fulcrais para que se adquiram hábitos com menor impacto no ambiente.

A sensibilização ambiental permite ainda uma maior aceitação social das medidas de redução das emissões e, consequentemente, um maior apoio político. Este é muitas vezes o principal obstáculo à implementação destas medidas, o que faz da sensibilização ambiental uma ferramenta imprescindível à aplicação dos Planos de melhoria da qualidade do ar.

O desenvolvimento e apoio a estas iniciativas caberá, principalmente, à CCDR-N e às câmaras municipais, em cooperação também com outras entidades e associações com maior proximidade de públicos-alvo específicos (associações industriais, por exemplo) e poderá ser efectuada através dos meios de comunicação social, fóruns, colóquios, *workshops*, relatórios ambientais ou incentivos.

A CCDR-N encontra-se, até ao final de 2011, a aplicar uma série de acções de sensibilização e formação para as questões da qualidade do ar (URL 21). Estas acções, que visam diferentes

públicos-alvo e recorrem a diferentes estratégias de comunicação, constituem o Plano de Comunicação da CCDR-N, pelo que este Plano deverá ser repensado de forma a abranger os concelhos de Braga e Vila Verde de forma mais completa.

De referir que as entidades envolvidas no PERN aderiram massivamente a esta iniciativa, tendo sido realizadas diversas acções de sensibilização e formação, nomeadamente, ao nível da comunidade escolar (Borrego *et al.* 2010a).

5. Modelação da Qualidade do Ar

A modelação numérica para a avaliação da qualidade do ar constitui uma ferramenta fundamental na elaboração dos PPar, podendo ser utilizada, por exemplo, como forma de estimar o impacto das medidas propostas.

No âmbito deste trabalho a modelação foi utilizada como forma de estimar o impacto de um cenário de redução (CR) de emissões de PM10 na aglomeração de Braga, face ao cenário base (CB) - situação real para o ano de 2008.

Foi escolhido o ano de 2008, apesar de não terem sido registadas excedências ao VL de PM10 na Aglomeração de Braga, com base nas seguintes razões:

- Em 2005 e 2006, a estação de Circular Sul teve problemas com entrada de água e condensação no tubo de amostragem do analisador de partículas, originando baixa eficiência de recolha de dados;
- Em 2007 decorreram obras de construção civil na estrada junto à qual a estação de Circular Sul está situada o que fez aumentar significativamente as concentrações de partículas, registando-se neste período valores de concentração horária de PM10 acima dos 1000 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Estas emissões não seriam adequadamente representadas pelo modelo;
- A última revisão/actualização do inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte, baseada em informação mais completa e detalhada, diz respeito ao ano de 2008.

Relativamente à construção do cenário de redução, foram usadas algumas das medidas descritas no capítulo 4, para as quais foi possível estimar a redução das emissões de PM10 decorrentes da sua aplicação.

5.1. Modelo de Qualidade do Ar TAPM

O modelo utilizado para a simulação da qualidade do ar na região de estudo, The Air Pollution Model (TAPM) (Hurley *et al.*, 2005), desenvolvido pela Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), é um modelo meteorológico de prognóstico matemático, determinístico, de mesoscala e dispersão atmosférica a três dimensões, que se baseia na resolução das principais equações da dinâmica de fluídos e de transporte para estimar a meteorologia e a concentração de poluentes ao nível do solo. Através da integração de dois módulos principais, um meteorológico e outro de poluição atmosférica, o TAPM consegue prever

parâmetros meteorológicos importantes para a simulação da dispersão, tanto à escala local como à escala regional.

No primeiro módulo, o modelo estima os parâmetros meteorológicos que serão usados pelo módulo de dispersão de poluentes. Para estimar estes parâmetros, o TAPM utiliza bases de dados globais de orografia, uso do solo, temperatura superficial e condições sinóticas. Para as componentes horizontais do vento, o modelo resolve a equação da conservação da quantidade de movimento e, para a componente vertical, a equação da continuidade de um fluido incompressível. Para a temperatura potencial e humidade específica, o modelo utiliza as equações escalares (Hurley *et al.*, 2005).

Na componente de poluição atmosférica, o TAPM simula processos físico-químicos associados à produção, transporte, dispersão e deposição de poluentes atmosféricos reactivos e inertes, utilizando a formulação Euleriana tridimensional. O modelo possibilita a entrada de dados de emissões de fontes pontuais, de fontes em linha e de fontes em área. Tem ainda como opção a abordagem Lagrangeana para fontes pontuais. O TAPM considera também a deposição seca e húmida de poluentes, permitindo a simulação dos efeitos dos edifícios próximos, quando estes têm grande influência sobre o escoamento atmosférico (Sá e Calado, 2007).

O mecanismo químico do TAPM é baseado num mecanismo semi-empírico denominado “Generic Reaction Set”, considerando 10 reacções para 13 espécies: óxido de azoto (NO), NO₂, O₃, SO₂, smog reactivo, mistura de radicais, peróxido de hidrogénio, carbono orgânico não-gasoso estável, produtos gasosos estáveis de azoto, produtos não-gasosos estáveis de azoto, produtos não-gasosos estáveis do enxofre, partículas totais e partículas finas, que incluem as partículas secundárias.

O modelo inclui software para a visualização e extracção de séries temporais do campo tridimensional de concentrações de um poluente, apresentando ainda resumos estatísticos da meteorologia e da concentração de poluentes ao nível do solo.

5.2. Modelação da qualidade do ar para a Região de Estudo

A simulação numérica com o TAPM foi iniciada com os dados de análises sinóticas europeias de 2008 fornecidos pelo CSIRO e aplicada, usando a técnica de *nesting* na componente meteorológica do modelo, a três domínios, cobrindo a Península Ibérica (D1), Regiões Norte e Centro (D2) e a Região Norte (D3), com resoluções espaciais de 43,2; 14,4 e 4,8 km, respectivamente. O último domínio (D3) corresponde ao domínio de simulação da qualidade do ar da região de estudo, com dimensões de 120×120 km².

5.2.1. Avaliação do modelo TAPM - componente meteorológica

A avaliação do comportamento do modelo na sua componente meteorológica para a região de estudo foi realizada para o Domínio D3, por comparação com os dados medidos nas estações meteorológicas da Lipor II (Lat 41° 13'42.8'' N, Long 8° 39'2.4''W), de Barcelos (Lat 41° 31'33.6'' N, Long 8° 37'26.4''W) e Gondizalves (Lat 41° 32'35.6'' N, Long 8° 27'13.2''W) (URL 22).

Para a validação da simulação meteorológica do TAPM foram usados alguns indicadores de qualidade, apresentados na tabela 5.1, já utilizados em outros estudos realizados com o TAPM (Luhar e Hurley, 2004; Sousa, S., 2007; Sousa, P., 2008). Borrego *et al.* (2008b) e a Environmental Protection Agency (EPA, 1991) também aconselham alguns destes parâmetros, que permitem avaliar a capacidade do modelo para simular os fenómenos atmosféricos.

Tabela 5.1: Indicadores de qualidade utilizados na validação das simulações do TAPM e respectivas descrições.

Parâmetro	Equação	Valor ideal
Erro sistemático médio (BIAS)	$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)}{N}$	0
Índices de Capacidade/habilidade (SKILLr e SKILLe)	$SKILL_R = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}$	-
	$SKILL_E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(O_i - \bar{O}) - (P_i - \bar{P})]^2}$	
Índice de concordância (IOA)	$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$	1
Fracção das previsões dentro de um factor de dois das medições (Fa2)	$Fa2 = \text{fracção .de.dados .que satisfazem .a.condição :}$ $0,5 \leq \frac{P}{O} \leq 2,0$	1

O_i – valores observados; \bar{O} – média dos valores observados; P_i – valores simulados; \bar{P} – média dos valores simulados;
 N – número de dados do intervalo

O parâmetro BIAS é indicativo do desvio existente entre as concentrações simuladas e observadas, sendo zero (desvio nulo) o valor ideal. Com base nos valores obtidos para o BIAS é possível saber qual a tendência dos erros cometidos pelo modelo (valores positivos demonstram

que o modelo tem tendência para subestimar as concentrações enquanto se forem negativos o modelo tende a sobrestimar as concentrações) (Borrego *et al.*, 2008b; Monteiro, 2007). Os índices de capacidade/habilidade evidenciam a relação entre os erros quadráticos médios e o desvio padrão dos valores observados. Valores destes índices inferiores a 1 indiciam um bom comportamento do modelo.

O índice de concordância (IOA, do inglês *Index of Agreement*) avalia a discrepância entre as estimativas feitas pelo modelo e as medições e é sensível a alterações na proporcionalidade. Se o IOA for superior a 0,5 considera-se que o modelo tem um bom comportamento, sendo o índice 1 o ajuste perfeito (Calado e Sá, 2007).

Apresentam-se, na tabela 5.2, os resultados da análise estatística dos parâmetros temperatura, componentes u e v, e velocidade do vento, para cada uma das três estações meteorológicas. Não foi calculado o BIAS para as componentes u e v do vento, pois não deve ser utilizado para parâmetros que podem assumir valores negativos.

Tabela 5.2: Indicadores de qualidade para a simulação meteorológica do TAPM.

Estação	Parâmetro	BIAS	SKILLr	SKILLe	Fa2	IOA
Barcelos	Temperatura	0,61 (°C)	0,82	0,79	0,99	0,85
	Velocidade do vento	-1,73 (m.s ⁻¹)	2,42	1,06	0,90	0,47
	Componente u	-	2,22	2,00	0,90	0,55
	Componente v	-	2,19	1,88	0,90	0,53
Gondizalves	Temperatura	0,81 (°C)	0,74	0,71	1,00	0,86
	Velocidade do vento	-2,16 (m.s ⁻¹)	5,54	2,25	0,73	0,27
	Componente u	-	6,91	6,14	0,66	0,17
	Componente v	-	3,41	3,05	0,73	0,46
LIPOR	Temperatura	3,91 (°C)	1,35	0,69	0,99	0,70
	Velocidade do vento	-2,10 (m.s ⁻¹)	1,73	1,00	0,99	0,57
	Componente u	-	2,11	1,88	0,99	0,59
	Componente v	-	0,96	0,85	0,99	0,82

De forma a complementar a análise através dos indicadores estatísticos, apresentam-se nas figuras 5.1 e 5.2 a variação temporal da temperatura e velocidade do vento, observadas e previstas pelo modelo, para 2008, para as estações meteorológicas em análise. Na figura 5.3 apresentam-se as rosas-dos-ventos comparativas dos valores observados e previstos pelo modelo, determinadas para as três estações em análise.

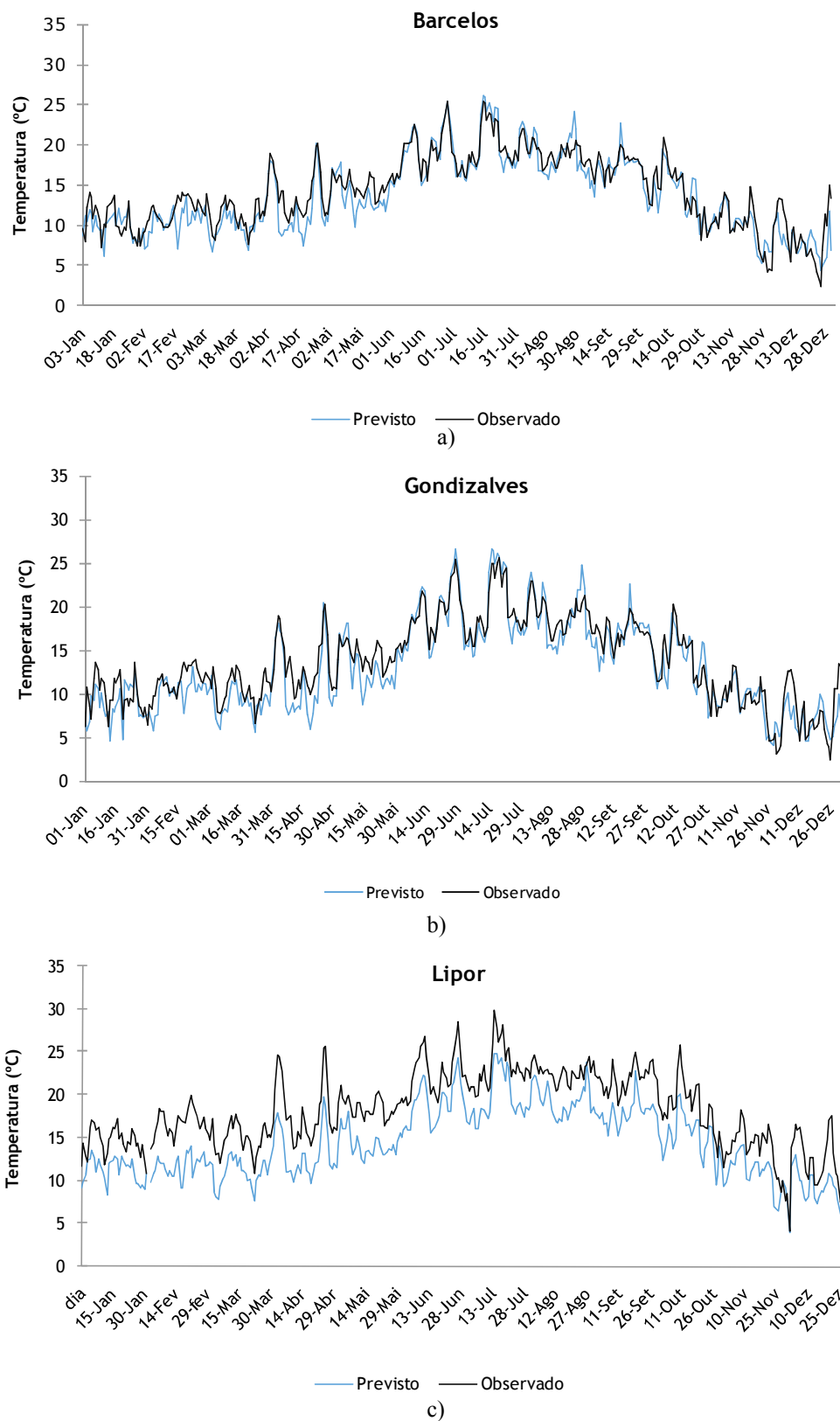


Figura 5.1: Comparação da temperatura média diária observada e prevista pelo TAPM, para as estações de Barcelos (a), Gondizalves (b) e Lipor (c), para o ano de 2008.

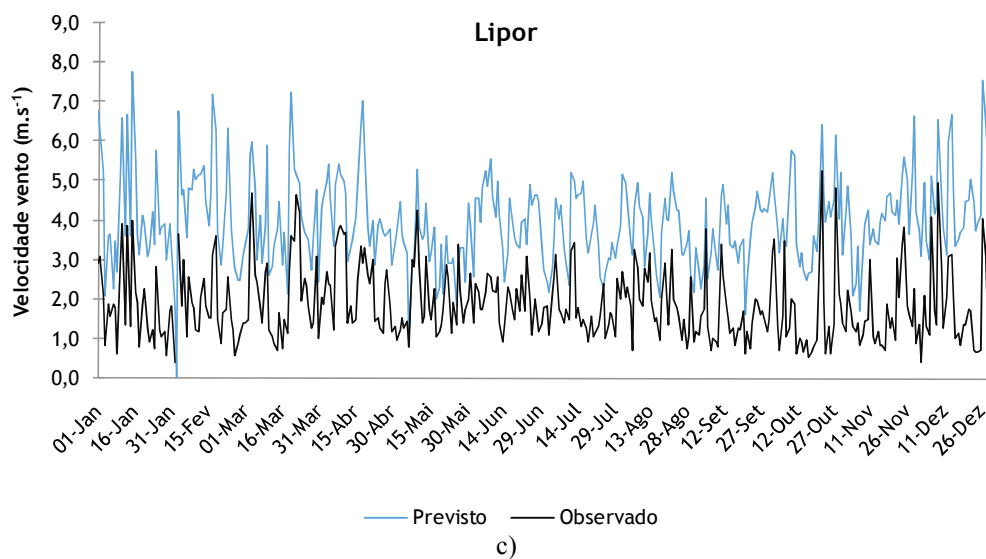
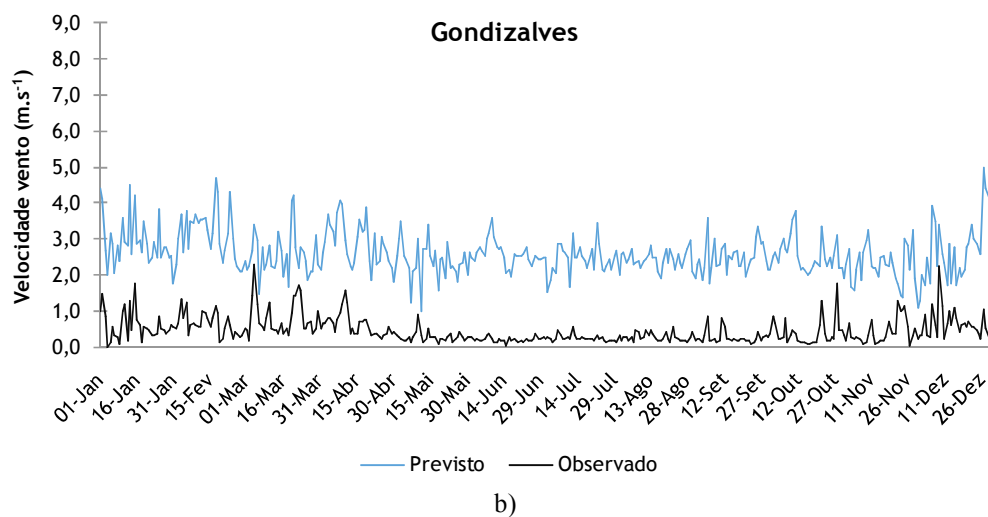
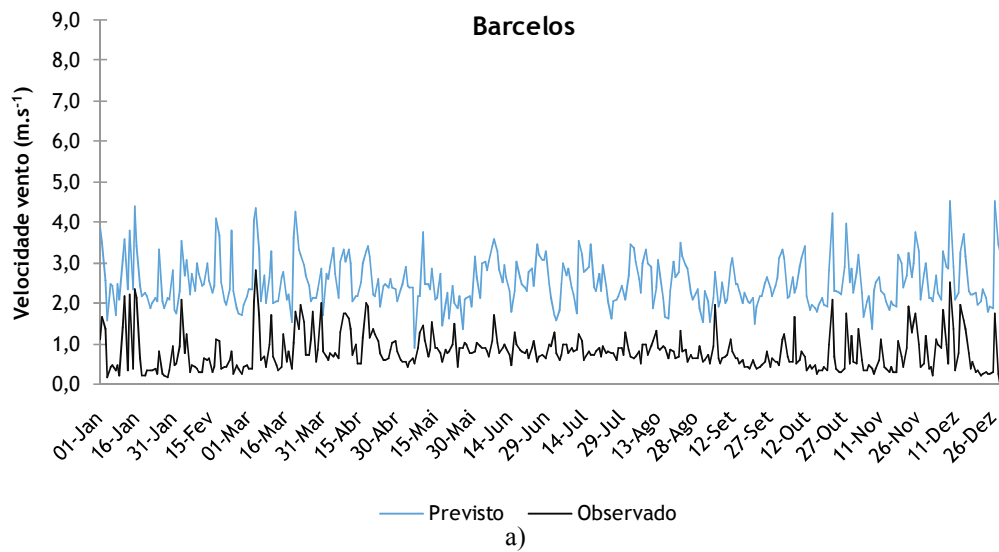


Figura 5.2: Comparação da velocidade do vento observada e prevista pelo TAPM, para as estações de Barcelos (a), Gondizalves (b) e Lipor (c), para o ano de 2008.

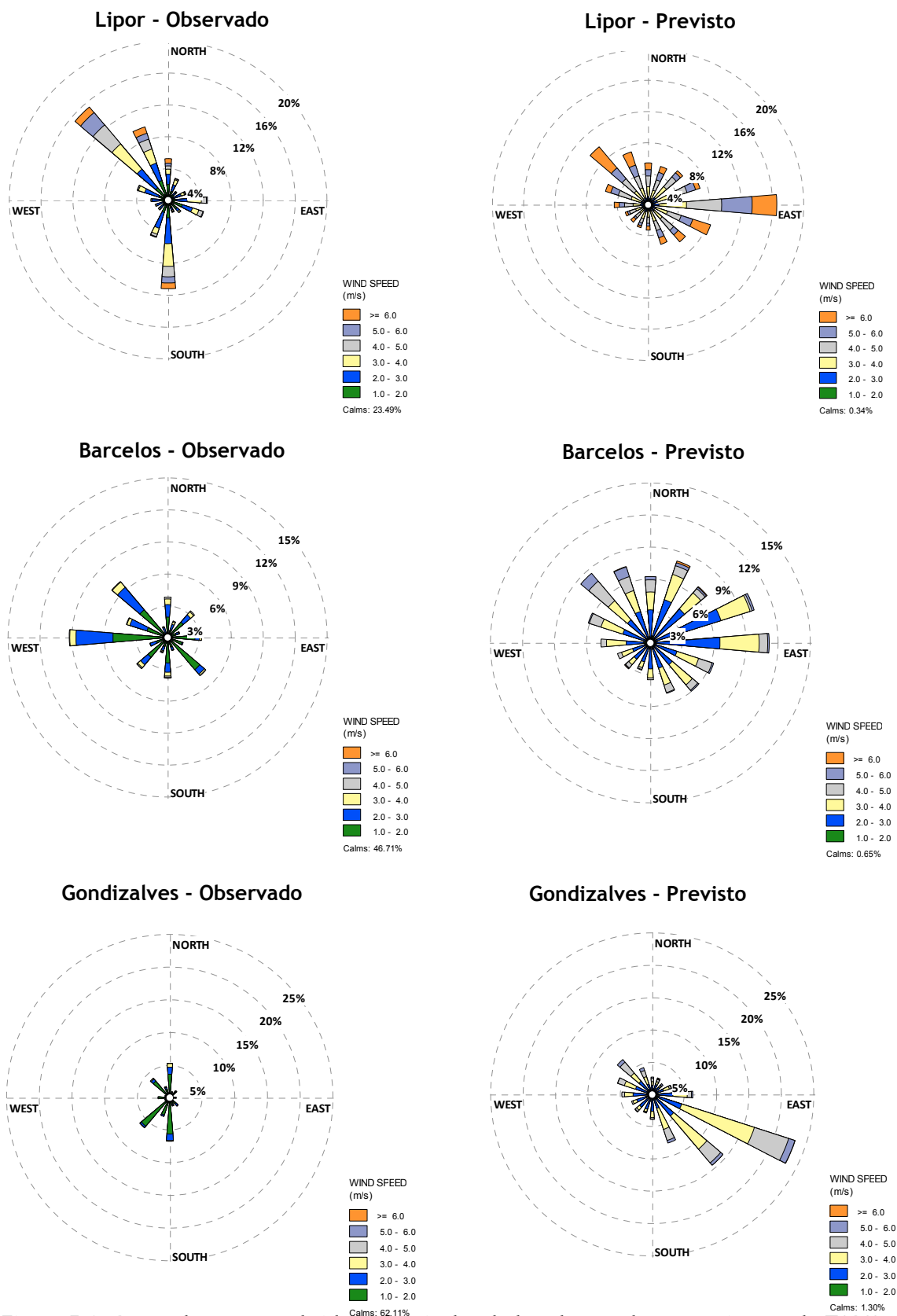


Figura 5.3: Rosas-dos-ventos obtidas a partir dos dados observados e previstos pelo TAPM, para as estações de Barcelos, Gondizalves e Lipor, para o ano de 2008.

Analisando os resultados da validação da simulação da componente meteorológica do modelo TAPM, constata-se que o parâmetro temperatura é bem simulado pelo modelo. A tabela 5.2 mostra um BIAS com valores positivos para todas as estações, indicando que o modelo tende a subestimar os valores de temperatura, sendo esta situação mais evidente na estação da Lipor. O índice de concordância, à semelhança dos restantes indicadores, reflecte também o bom comportamento do modelo, variando entre 0,70 e 0,86. A figura 5.1 corrobora esta análise, mostrando que o modelo segue as tendências de variação de temperatura observadas.

Relativamente às componentes u e v do vento, denota-se uma maior dificuldade do modelo em conseguir simular, apresentando valores para os índices de habilidade/capacidade menos satisfatórios. Apesar de tudo, os índices de concordância são superiores a 0,5 em duas das três estações analisadas, o que indica que o modelo consegue simular de forma razoável o comportamento do vento. Os resultados menos bons para este parâmetro poderão estar relacionados com a velocidade do vento observada nas estações, normalmente muito baixa, o que influencia também a direcção medida. Para todas as estações é notório que o TAPM sobrestima substancialmente este parâmetro, como se pode observar pela análise da figura 5.2.

A observação das rosas-dos-ventos (figura 5.3) permite ter uma percepção visual das diferenças entre as observações e as simulações do modelo para a direcção e velocidade do vento, sendo notórias as diferenças. Tal como os indicadores de qualidade indiciam, é para a estação da Lipor que o modelo se aproxima mais das medições, no que respeita a este parâmetro.

De um modo geral, e após esta análise, pode afirmar-se que o modelo, embora com algumas limitações, simula de forma satisfatória os parâmetros meteorológicos avaliados.

5.2.2. Avaliação do modelo TAPM - componente de poluição atmosférica

De forma a avaliar o comportamento do modelo na simulação da qualidade do ar da região de estudo, foi efectuada a validação, para o domínio D3, a comparação com os dados de concentração de PM10 medidos nas estações de monitorização da aglomeração de Braga - Circular Sul (CIR) e Horto (HOR), estações de tráfego e suburbana de fundo, respectivamente. De forma a complementar esta análise foram também usados, na validação, os dados de outras estações de fundo da Região Norte - a estação rural de Senhora do Minho (SMIN), as estações suburbanas de Calendário (CAL) e Vila Nova da Telha (VNT) e as estações urbanas de Ermesinde (ERM), Lacticínios (LAT) e Santo Tirso (STIR).

Encontra-se representada na figura 5.4 a localização das referidas estações.

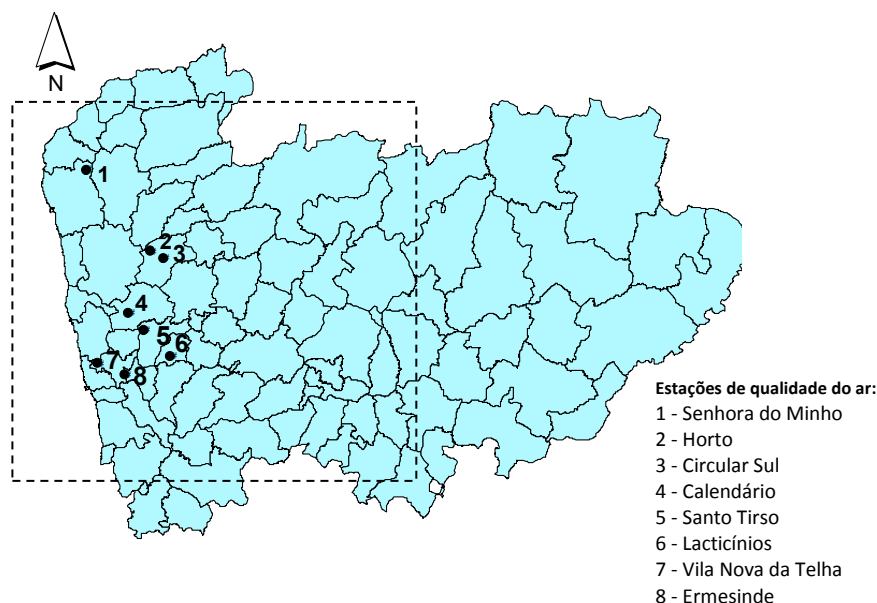


Figura 5.4: Localização das estações de monitorização de PM₁₀ utilizadas na validação da componente de qualidade do ar do TAPM (domínio D3 de simulação representado a tracejado).

Apresentam-se, de seguida, os resultados da análise estatística da modelação da qualidade do ar realizada com o TAPM relativa às PM₁₀ (Tabela 5.3) para as estações de qualidade do ar seleccionadas.

Tabela 5.3: Indicadores de qualidade da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.

	Valor ideal	CAL	CIR	ERM	LAT	SMIN	STIR	VNT	HOR
BIAS ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	0	-13,35	-4,91	-0,44	-19,64	-15,23	-15,22	-10,94	-8,54
Fa2	1	0,76	0,87	0,98	0,89	0,88	0,28	0,79	0,92
SKILLr	-	1,98	1,36	1,55	2,75	3,49	1,39	1,62	1,56
SKILLe	-	1,43	1,21	1,33	1,45	2,08	1,11	1,38	1,26
IOA	1	0,37	0,37	0,32	0,29	0,23	0,32	0,36	0,31

Denota-se, da análise da tabela, uma tendência geral do modelo para sobrestimar as concentrações de PM₁₀, dado que o parâmetro BIAS apresenta valores negativos para as oito estações. Para este parâmetro, a estação de Ermesinde é a que apresenta melhores resultados, sendo as diferenças entre a simulação e as medições pequenas.

Relativamente ao parâmetro Fa2, constata-se que é a estação de Ermesinde que apresenta o valor mais favorável, sendo que as estações da aglomeração de Braga também apresentam bons resultados para este parâmetro.

A tabela 5.3 mostra ainda que os índices de capacidade/habilidade apresentam valores acima da unidade, o que indica que os erros quadráticos médios são superiores ao desvio padrão dos valores observados.

Também os valores do índice de concordância, em todas as estações, são inferiores ao desejável - 0,5, valor acima do qual se considera que o modelo apresenta um bom comportamento. As estações de Calendário e Circular Sul apresentam o melhor resultando para este indicador.

Dado que a simulação foi realizada numa base anual, procedeu-se a uma análise dos indicadores de qualidade para cada mês do ano nas estações sujeitas a validação. Com esta análise pretende-se avaliar a performance do modelo ao longo do ano.

As figuras 5.5 a 5.9 apresentam os resultados dessa análise.

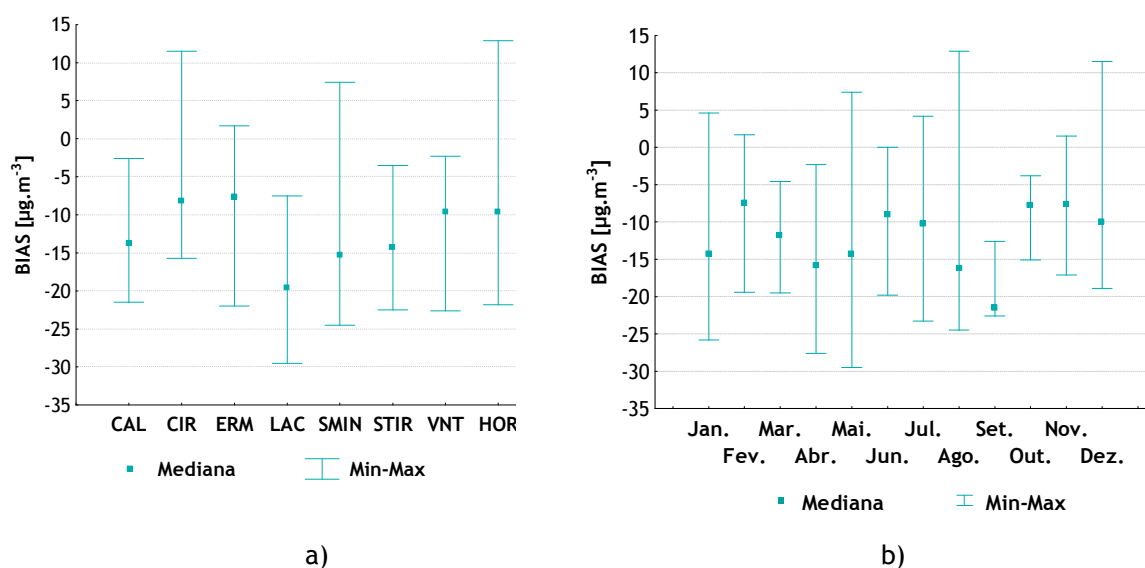
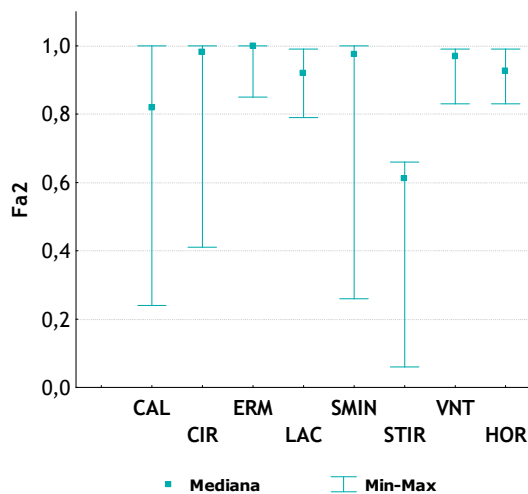
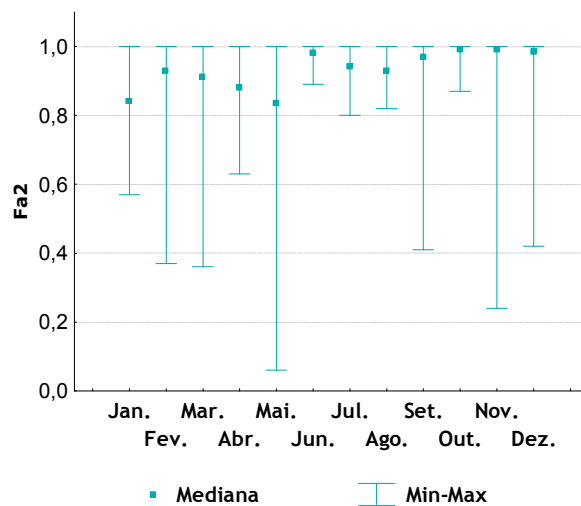


Figura 5.5: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro BIAS por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.

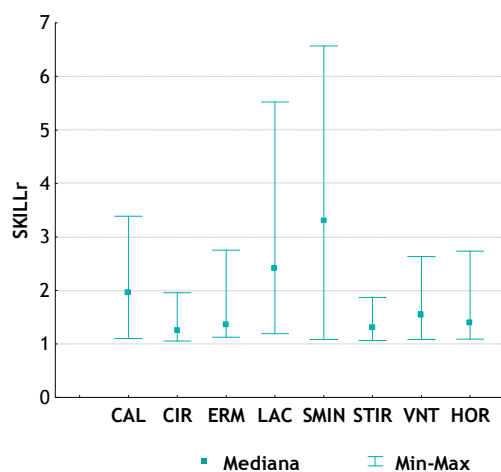


a)

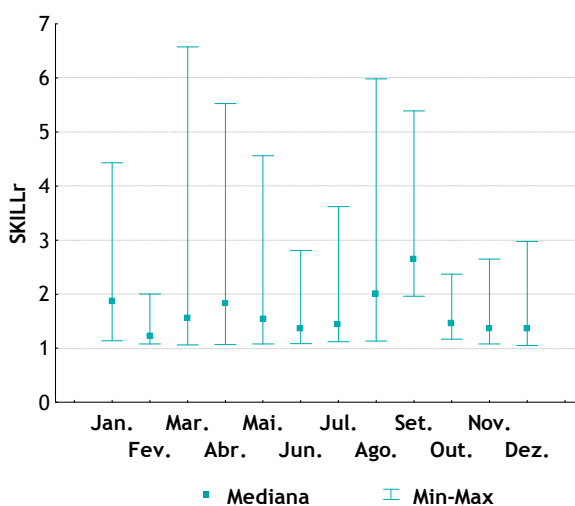


b)

Figura 5.6: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro Fa2 por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.



a)



b)

Figura 5.7: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro SHILLr por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.

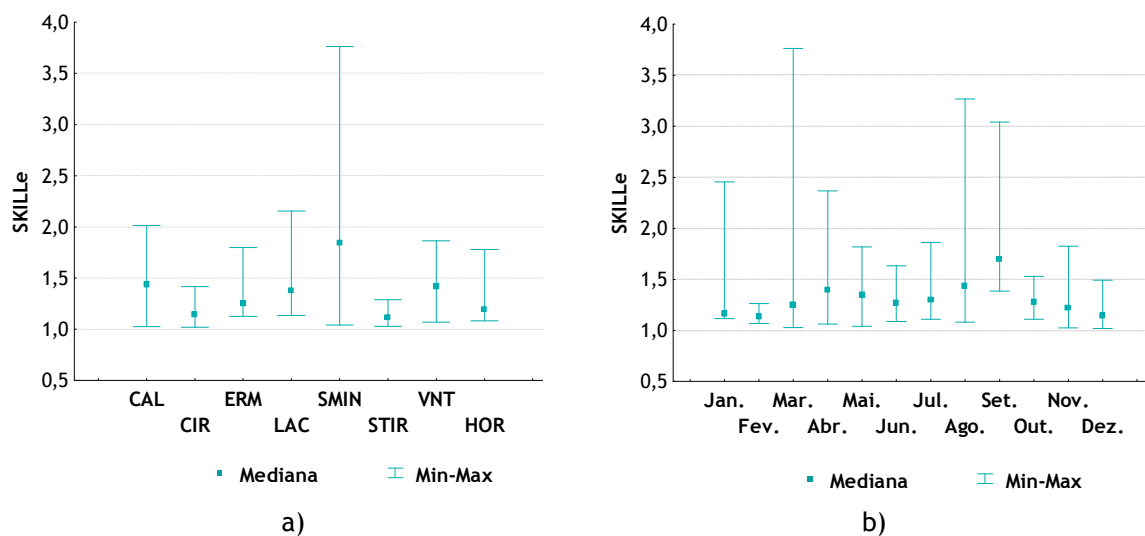


Figura 5.8: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro SKILL por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.

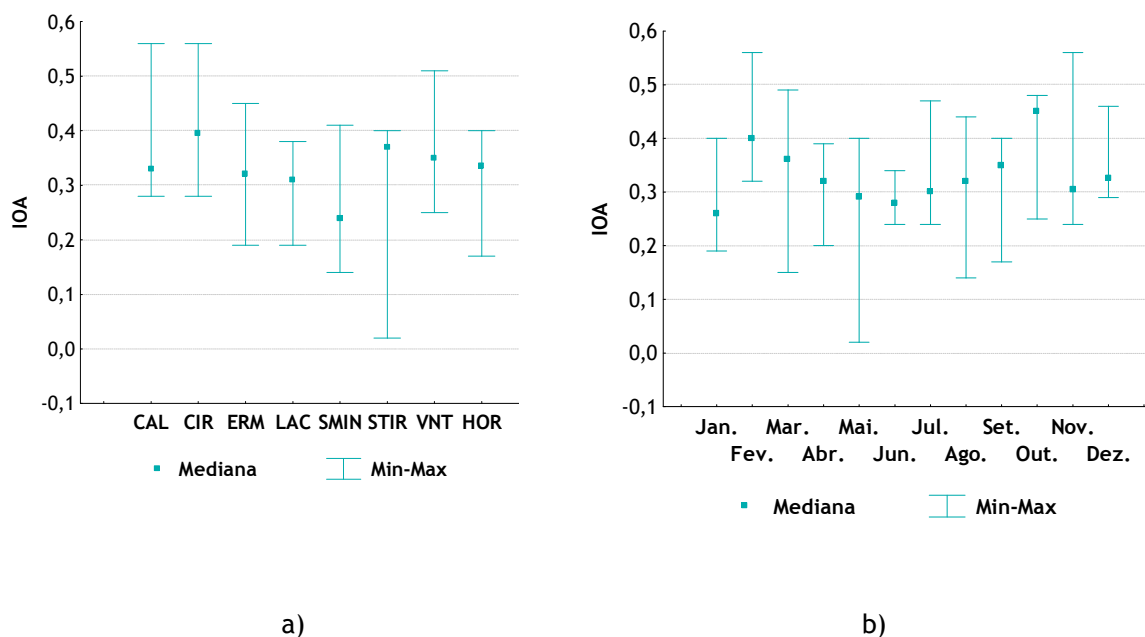


Figura 5.9: Distribuição dos valores obtidos para o parâmetro IOA por estação (a) e por mês (b), para as estações usadas na análise estatística da simulação da componente de qualidade do ar do TAPM.

Da análise mais detalhada às figuras 5.5 a 5.9 é possível constatar que, para a simulação efectuada, o modelo apresenta performances discrepantes de mês para mês, destacando-se o mês de Fevereiro como aquele em que os resultados da simulação mais se aproximam dos valores

medidos, com diferenças de concentração inferiores a $7,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ e índices de correlação superiores a 0,4 em metade das estações analisadas.

Os resultados da modelação tendem a ser menos favoráveis nos meses de Janeiro, Abril, Maio e Setembro.

A estação de Circular Sul é a que apresenta melhores resultados de entre as estações analisadas, com índices de concordância de valor igual ou superior a 0,4 em 6 meses do ano.

De forma a complementar a análise através dos indicadores estatísticos, apresentam-se na figura 5.10 a variação temporal das concentrações médias diárias de PM10 nas estações da aglomeração de Braga.

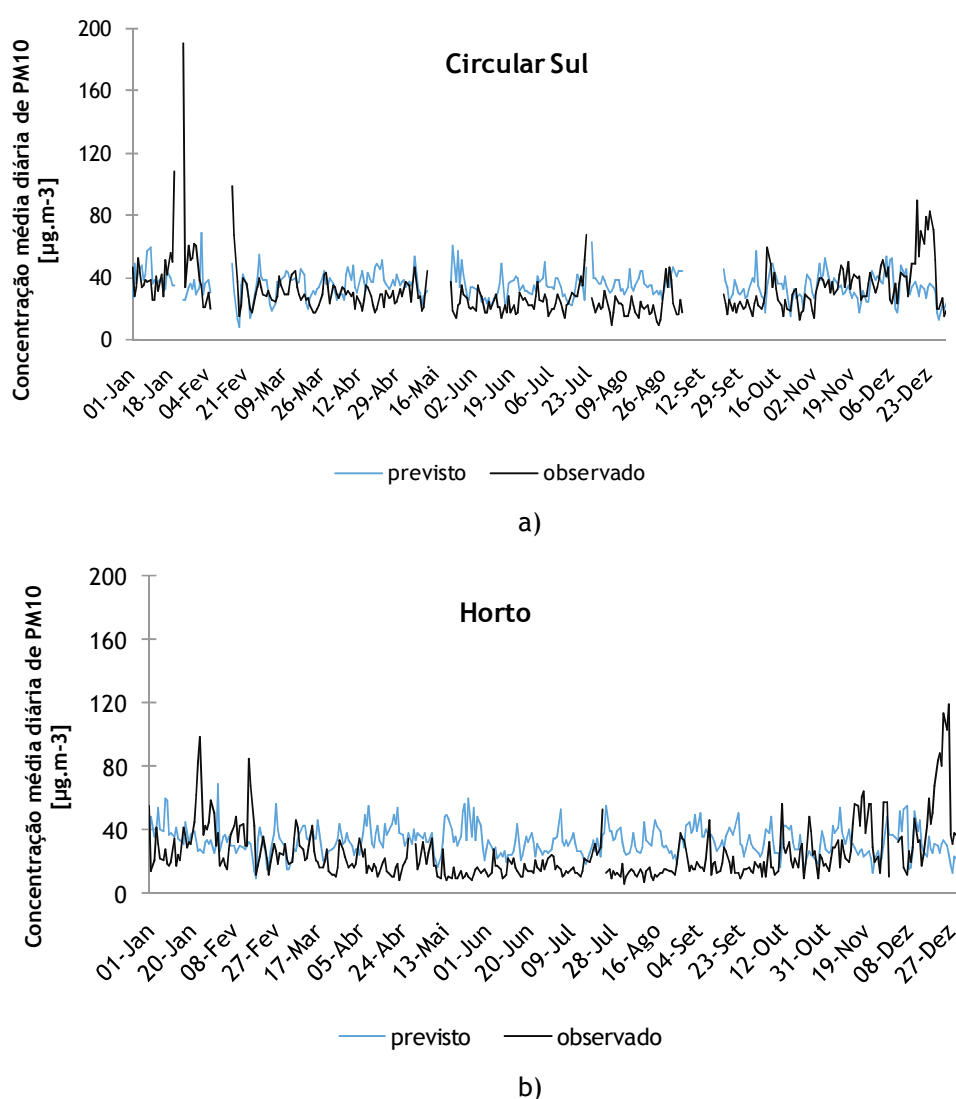


Figura 5.10: Comparação entre concentrações médias diárias de PM10 observadas e previstas pelo TAPM, para as estações de Circular Sul (a) e Horto (b) para o ano de 2008.

Pela observação da figura 5.10 é possível constatar a tendência do modelo para sobrestimar as concentrações de PM₁₀, principalmente na Primavera e Verão, tanto para a estação de Horto como para a do Circular Sul. No entanto, para os meses de inverno, de Dezembro a Fevereiro essencialmente, as concentrações medidas foram muito superiores às obtidas na modelação, não conseguindo o TAPM prever as elevadas concentrações médias diárias que foram observadas neste período. Isto pode indicar a existências de fontes de emissão que não estão a ser devidamente consideradas na simulação (nomeadamente o acentuado uso das lareiras neste período) ou a presença de condições específicas de dispersão que não são bem representadas pelo modelo. Este facto poderá também contribuir para que o número de excedências ao VL diário de PM₁₀ previsto na simulação para duas estações da aglomeração de Braga seja inferior ao verificado nas medições, como se pode verificar na figura 5.11.

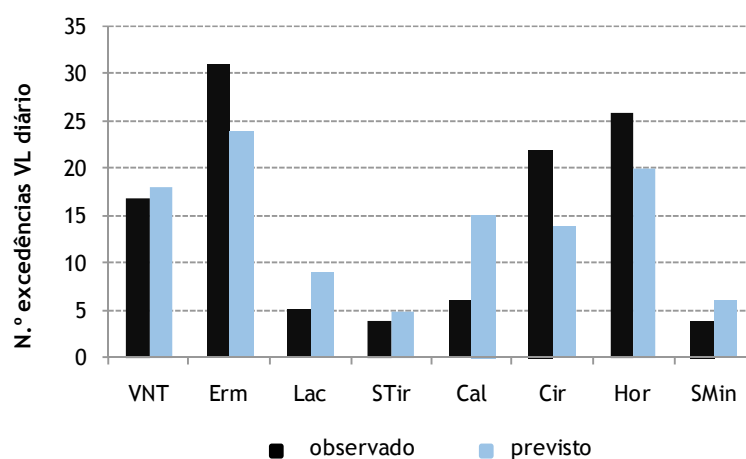


Figura 5.11: Comparação entre o n.º de excedências ao VL diário de PM₁₀ observado e o previsto pelo TAPM, para as estações de qualidade do ar seleccionadas.

Para o conjunto de estações analisadas não se evidencia qualquer tendência generalizada para subestimar ou sobrestimar o n.º de excedências ao VL diário, como se pode verificar na figura 5.11, havendo estações para as quais as previsões do modelo são superiores e outras em que se verifica o contrário.

É de referir que as diferenças encontradas não são muito acentuadas, tendo em conta que pequenas discrepâncias entre a concentração média diária prevista e medida podem ditar diferenças no número de excedências verificadas ao longo de um ano, especialmente num ano como o de 2008, em que as concentrações foram, regra geral, baixas não tendo havido incumprimentos ao Decreto-Lei n.º 111/2002, de 16 de Abril, no que respeita a este poluente, para as estações da aglomeração de Braga.

5.2.3. Simulação do Cenário de redução

A modelação da qualidade do ar foi utilizada como forma de estimar o impacto de um cenário de redução (CR) das emissões de PM10 na aglomeração de Braga, face ao cenário base (CB) - situação real para o ano de 2008. No cenário de redução foram consideradas as medidas constantes da tabela 5.5, seleccionadas de entre as descritas no capítulo quatro, tendo-se subtraído ao cenário base as emissões de PM10 evitadas pela aplicação das mesmas.

A comparação entre os dois cenários, mantendo-se constante todas as outras condições (nomeadamente meteorológicas), permite estimar o impacto da implementação das medidas propostas sobre a redução das emissões de PM10 na aglomeração de Braga.

A redução pela aplicação das medidas relativas à imposição de VLE de partículas mais restritivos para a indústria, à substituição de depoeiradores em fontes industriais e ao reforço da fiscalização de fontes pontuais, foi estimada em conjunto, visto serem medidas que se aplicam às mesmas fontes e que estão intimamente relacionadas, complementando-se.

Relativamente às emissões, utilizaram-se os dados reportados no inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte, relativos a 2008 (Borrego *et al.*, 2009b). As fontes em área encontravam-se desagregadas por concelho e divididas num conjunto de actividades, reunidas nas seguintes categorias SNAP (do inglês *Selected Nomenclature for Air Pollution*): combustão residencial e comercial (S2); combustão industrial (S3); processos de produção (S4); extracção e distribuição de combustíveis (S5); uso de solventes (S6); transportes rodoviários; outras fontes móveis (S8); tratamento e deposição de resíduos (S9).

A tabela 5.4 apresenta as emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário base, e a contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos.

Tabela 5.4: Emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário base, e contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos (adaptado de Borrego *et al.*, 2009b).

Concelho	Emissão de PM10 por categoria SNAP (t)									Emissão (t)
	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
Braga	361,2	44,8	420,0	0,0	0,9	91,3	2,7	6,1	13,8	940,8
	28%	4%	33%	0%	0%	7%	0%	0%	1%	74%
Vila Verde	97,9	47,6	133,9	0,0	1,1	33,3	3,4	1,7	12,7	331,6
	8%	4%	11%	0%	0%	3%	0%	0%	1%	26%
				Emissão total dos 2 concelhos (t)						1272

A tabela 5.5 apresenta a estimativa de redução das emissões de PM10, por categoria SNAP e por concelho, pela aplicação das medidas propostas no cenário de redução.

Tabela 5.5: Estimativa das reduções das emissões de PM10 pela aplicação das medidas propostas no cenário de redução, por categoria SNAP e por concelho.

Medidas	Braga			Vila Verde		
	SNAP 2	SNAP 3 e 4	SNAP 7	SNAP 2	SNAP 3 e 4	SNAP 7
Certificação de equipamentos de combustão residencial	70%	-	-	70%	-	-
Reforço da fiscalização de fontes pontuais	-	21%	-	-	21%	-
Imposição VLE 150 mg/m3 para PTS na indústria	-		-	-		-
Substituição de despoeiradores em fontes industriais	-		-	-		-
Renovação da frota de RSU	-	-	0,04%	-	-	-
Incentivo à renovação da frota de pesados de passageiros	-	-	2,5%	-	-	0,4%
Introdução de filtros de partículas em pesados de mercadorias	-	-	13,1%	-	-	12,9%

A tabela 5.6 mostra as emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário de redução, e a contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos.

Tabela 5.6: Emissões anuais de PM10 nos concelhos de Braga e Vila Verde, para o cenário de redução, e contribuição relativa de cada uma das categorias SNAP para a emissão total dos dois concelhos (adaptado de Borrego *et al.*, 2009b).

Concelho	Emissões por categoria SNAP									Emissões (t)
	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
Braga	108,4	35,4	331,8	0,0	0,9	77,0	2,7	6,1	13,8	576,1
	14%	4%	42%	0%	0%	10%	0%	1%	2%	72%
Vila Verde	29,4	37,6	105,8	0,0	1,1	28,8	3,4	1,7	12,7	220,5
	4%	5%	13%	0%	0%	4%	0%	0%	2%	28%
Emissão total dos 2 concelhos (t)										797

Pela análise das tabelas 5.4 e 5.6, verifica-se que as medidas propostas no cenário de redução permitem uma diminuição das emissões totais de PM10 nos dois concelhos de cerca de 475 toneladas, face ao cenário base.

Denota-se, pela tabela 5.5, que a maior redução nas emissões de PM10 ocorre para a categoria SNAP 2, decorrente da aplicação da medida de certificação de equipamentos de combustão residencial.

Tal como evidenciado anteriormente, o modelo TAPM foi aplicado à região de estudo para dois cenários de emissão distintos: cenário base e cenário de redução. As figuras 5.12 e 5.15 apresentam os diferenciais da concentração média anual e da concentração máxima diária de PM10, entre os dois cenários.

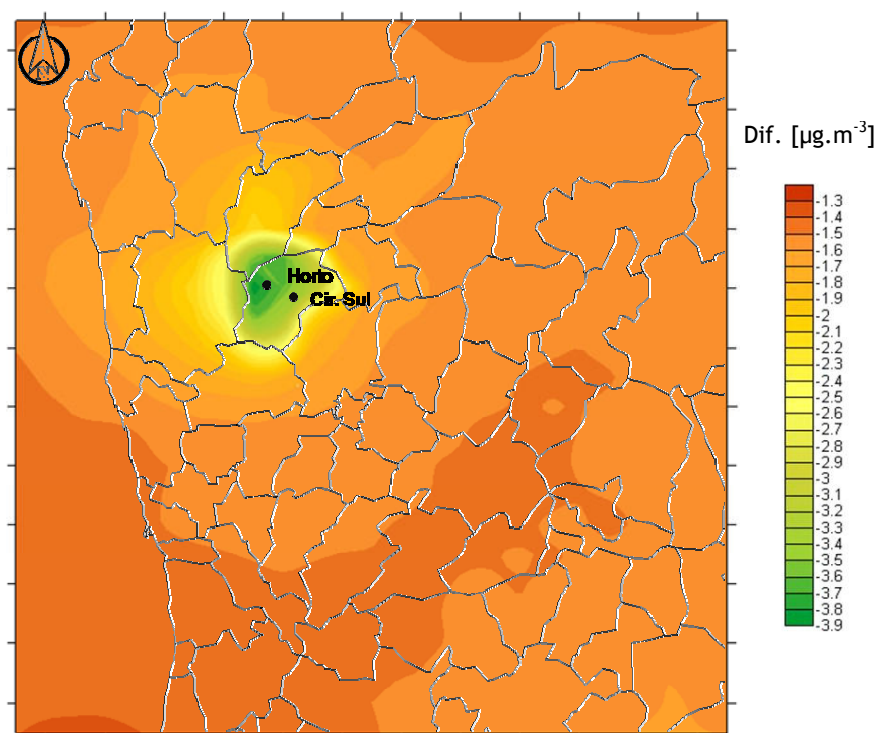


Figura 5.12: Diferenciais de concentração média anual de PM10 entre o cenário de redução e o cenário base, em valores absolutos.

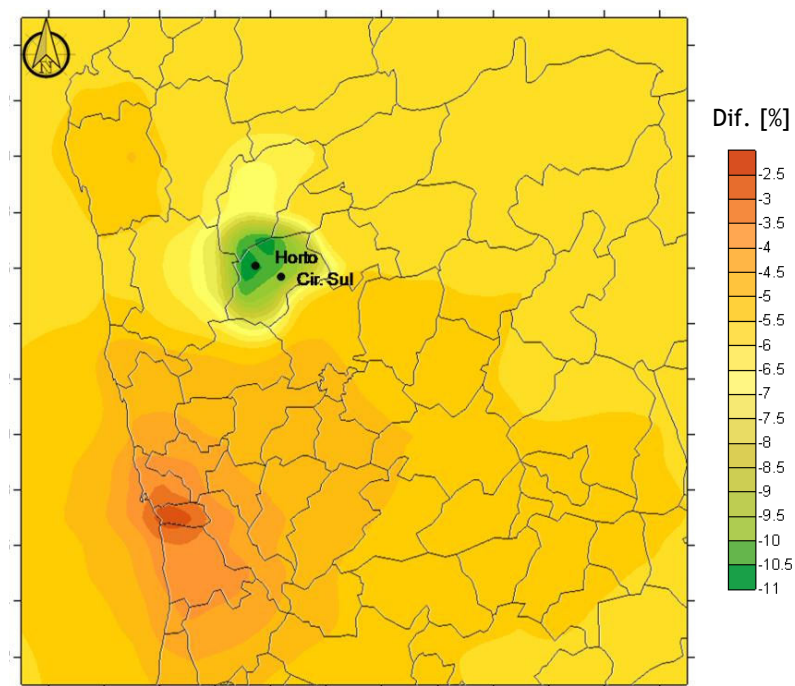


Figura 5.13: Diferenciais de concentração média anual de PM10 entre o cenário de redução e o cenário base, em valores relativos.

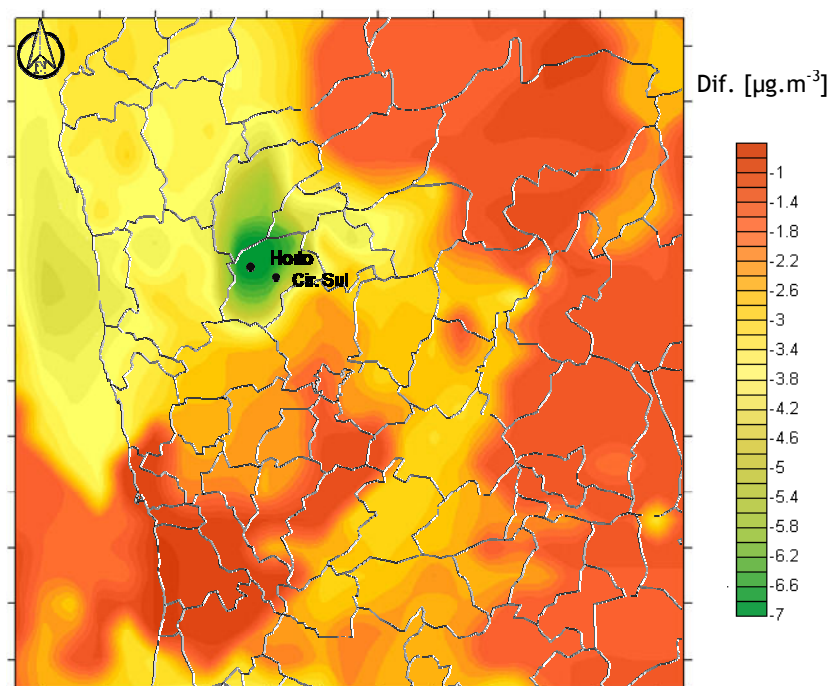


Figura 5.14: Diferenciais de concentração máxima horária de PM10 entre o cenário de redução e o cenário, base em valores absolutos.

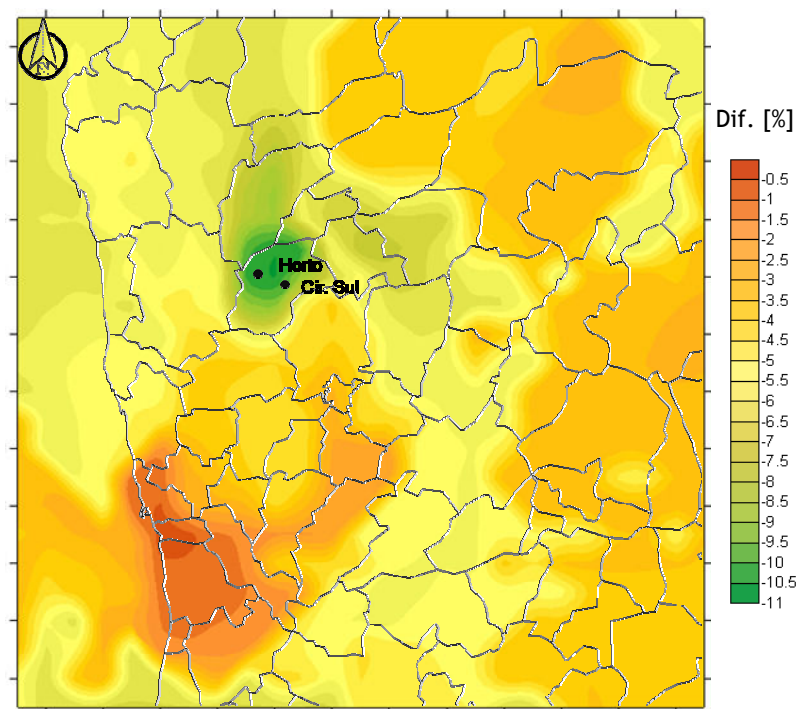


Figura 5.15: Diferenciais de concentração máxima horária de PM10, entre o cenário de redução e o cenário base, em valores relativos.

Da análise das figuras 5.12 e 5.13 depreende-se que a aplicação do cenário de redução resulta, na aglomeração de Braga, numa redução da concentração média anual de PM10 que varia entre os $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ e os $4 \mu\text{g.m}^{-3}$, o que equivale a reduções que oscilam entre os 6 e os 11%, relativamente aos valores da simulação para o cenário base. Relativamente à concentração máxima diária de PM10, as medidas aplicadas no cenário de redução resultam em reduções de $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ a $7 \mu\text{g.m}^{-3}$, o que corresponde a uma diminuição entre 6 a 11%, como verifica nas figuras 5.14 e 5.15.

As figuras 5.16 e 5.17 apresentam as concentrações médias anuais e o número de excedências ao VL diário de PM10 de acordo com as medições e as previsões do TAPM para cenário base e cenário de redução, nas estações da aglomeração de Braga.

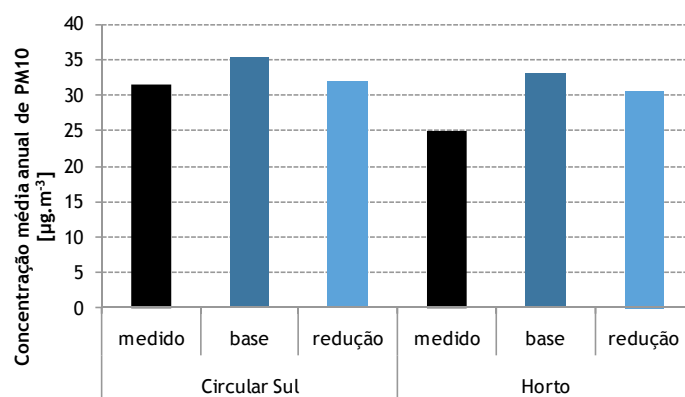


Figura 5.16: Concentração média anual de PM10 observada e simulada pelo TAPM para cenário base e cenário de redução, nas estações da aglomeração de Braga.

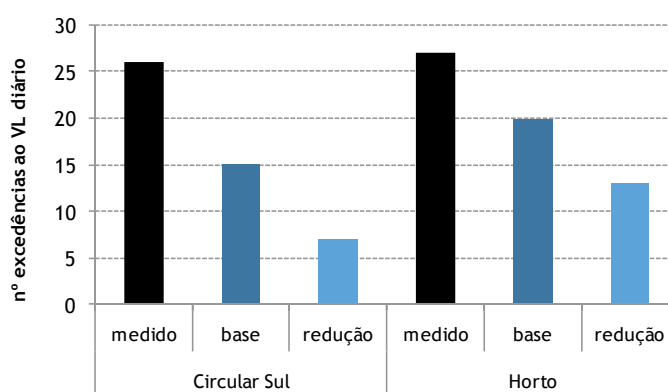


Figura 5.17: Número de excedências ao VL diário de PM10 observadas e simuladas pelo TAPM para cenário base e cenário de redução, nas estações da aglomeração de Braga.

Analisando os resultados para as estações da aglomeração de Braga, apresentados na figura 5.16 e 5.17, verifica-se que para a estação de Circular Sul a redução da concentração média anual foi de $3,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ e o n.º de dias de excedências ao VL diário baixou de 15 para 7. Para a estação de Horto, a redução da concentração média anual foi de $2,5 \mu\text{g.m}^{-3}$ e o n.º de dias de excedências ao VL diário baixou de 20 para 13.

Constata-se, deste modo, que o cenário de redução simulado apresenta resultados positivos, principalmente ao nível da redução do número de excedências ao VL diário de PM10. Deve ter-se em conta, no entanto, que 2008 foi um ano em que as concentrações de PM10 registadas foram relativamente baixas, o que tende a favorecer esta redução.

Os resultados obtidos através da modelação efectuada devem ser considerados meramente indicativos. Estes resultados pressupõem que todas as variáveis, à excepção das emissões das fontes-alvo das medidas incluídas no CR, se mantêm constantes, o que implica a inexistência de variabilidade meteorológica anual, cuja influência na qualidade do ar é muito relevante. Para além disso, há que ter em conta as incertezas associadas à modelação, que neste caso não demonstrou facilidade em simular as concentrações observadas.

Por conseguinte, os resultados devem ser vistos num sentido relativo, ou seja, dando especial relevo aos diferenciais de concentração entre os dois cenários. Assim, a principal conclusão a retirar é que se prevê uma diminuição da concentração média anual de PM10 na aglomeração de Braga, decorrente da implementação do conjunto de medidas incluídas no CR, entre os 6 e os 11%. Também para concentração máxima diária de PM10 se prevê que as reduções oscilem entre estes valores.

6. Análise de Custos e Benefícios inerentes à aplicação das medidas e hierarquização das mesmas

A análise custo - benefício, ao avaliar a viabilidade económica e o impacto na qualidade do ar resultante da aplicação das medidas, permite estimar até que ponto as melhorias na qualidade do ar compensam os custos da aplicação de determinada medida, bem como hierarquizar as medidas a implementar.

No entanto, há uma grande incerteza à volta da estimativa de custos e benefícios das medidas de melhoria da qualidade do ar (Defra, 2007). A multiplicidade de opções existentes dentro de cada uma e a complexa relação que algumas medidas têm entre si, dificulta a avaliação individual dos seus custos e benefícios ambientais. Acresce ainda a incerteza relativa ao espaço temporal para concretização das medidas e as alterações que irão decorrer neste período, seja ao nível da qualidade do ar ou da evolução do mercado.

Por conseguinte, para avaliar o custo-benefício da aplicação das medidas é necessário assumir um conjunto de pressupostos relativos à sua aplicação, assentes nos dados de base disponíveis e na extrapolação dos resultados da aplicação de medidas semelhantes noutras regiões ou países.

A definição destes pressupostos é dificultada pelo facto dos dados de base (volume de tráfego por tipologia de veículo, por exemplo) nem sempre estarem disponíveis ou desagregados de forma a poderem ser utilizados com fiabilidade. Também a extrapolação dos resultados da aplicação de determinada medida noutro local é delicada, pois a eficácia das mesmas varia consideravelmente de local para local, consoante as diferentes características que estes apresentam.

Efectuou-se a estimativa dos custos e benefícios da implementação de algumas das medidas propostas, cuja análise pormenorizada e os pressupostos assumidos se encontram detalhados no Anexo H. As restantes não foram analisadas por falta de dados de base para o cálculo de custos e/ou emissões ou dificuldade de extrapolação de resultados da aplicação de medidas similares.

A hierarquização das medidas é uma forma de as organizar de acordo com a sua prioridade de implementação, definida após análise dos custos da sua implementação e das vantagens ambientais a ela inerentes, considerando também a facilidade de implementação e a aceitação social. Na tabela 6.1 apresenta-se a análise de custos e benefícios e as hipotéticas facilidade de implementação e aceitação, que deve ser considerada meramente indicativa.

Tabela 6.1: Custos e benefícios da implementação das medidas e as hipotéticas facilidade de implementação e aceitação social.

Medidas	Escala temporal ^{a)}	Benefícios (t _{red.})	Custos (k€)	Relação Custo-benefício (k€/t _{red.})	Facilidade de implementação ^{b)}	Aceitação social ^{c)}
Sensibilização ambiental	CP	-	15,3	-	2	1
Varrimento e lavagem de ruas	CP	-	220	-	2	1
Reforço da fiscalização fontes industriais	CP-MP	135,72	-	-	2	1
Substituição de despoeiradores	MP				-	-
Portarias 675/09 e 677/09	CP-MP					
Redução poeiras construção civil	CP	-	8,5	-	3	1
Partilha de automóveis	MP	-	-	-	3	1
Melhoria da rede de transportes públicos	MP	-	43	-	4	1
Redução emissões combustão residencial	LP	325,09	30000	92	3	3
Redução das emissões dos veículos pesados de mercadorias - Introdução de FP nos veículos EURO I e EURO II	MP	4,87	5511	1132	3	1
Renovação da frota RSU	MP	0,03	99	3300	3	1
Redução das emissões dos veículos pesados de mercadorias - Substituição de veículos Pré-Euro por novos	MP	8,65	20940	8069	3	1
Renovação da frota de pesados passageiros	MP	2,08	17800	8558	3	1
Diminuição pesados mercadorias em circulação	MP-LP	-	45	-	5	3
VAO	LP	-	-	-	5	3

a) Curto-prazo (CP) - inferior a um ano; Médio-prazo (MP) - entre 1 e 3 anos; Longo Prazo (LP) - superior a 3 anos.

b) Escala de 1 a 5, onde 1: Muito fácil, 5: Muito difícil

c) Escala de 1 a 5, onde 1: Muito aceitável, 5: Pouco aceitável

Contudo, as medidas propostas são aquelas cuja implementação é mais viável, com base no exemplo da Região Norte e noutros Planos de melhoria da qualidade do ar, seja por motivos económicos, ambientais ou político-sociais, existindo um forte potencial de adesão por parte das autoridades responsáveis pela sua aplicação.

Por conseguinte, a hierarquização das medidas não será uma questão essencial, devendo ser encetados esforços para que todo o pacote de medidas sugerido seja implementado, se possível na sua máxima extensão (implementação total) e no mais curto espaço de tempo.

Saliente-se ainda que muitas medidas então inter-relacionadas, principalmente as dirigidas ao tráfego rodoviário, pelo que não devem ser analisadas isoladamente, pois os seus custos e benefícios são interdependentes. Do mesmo modo, a facilidade de implementação e o sucesso de algumas medidas pode depender, pelo menos parcialmente, da aplicação de outras. Por exemplo, a criação de vias de alta ocupação poderá não atingir os objectivos pretendidos (redução do volume de tráfego e emissões associadas) se não for apoiada e incentivada a partilha de automóveis ou não houver melhoria na rede de transportes públicos, pois a diminuição do número de faixas para circulação dos restantes veículos pode levar a congestionamentos e a um aumento das emissões de PM10. Por sua vez, a melhoria na rede de transportes públicos passará também pela renovação da frota de pesados de passageiros.

Há, no entanto, que destacar algumas medidas cuja implementação se poderá considerar imprescindível. As de âmbito informativo/educativo são um bom exemplo, pois estimulam a aceitação social das medidas de melhoria da qualidade do ar e envolvem a população na aplicação das mesmas. A sensibilização ambiental, sendo uma medida transversal a todas as outras, contribuirá fortemente para o seu sucesso. A partilha de automóveis, a redução das emissões de poeiras da construção civil e o reforço da fiscalização das fontes de emissão pontual, ao terem também uma predominante componente informativa e educativa, são também medidas de implementação indispensável. Estas medidas têm, normalmente, custos de aplicação baixos.

A entrada em vigor das Portarias que estabelecem VLE de PTS mais restritivos para a indústria e comércio estima-se que terá um forte contributo na redução da concentração de fundo deste poluente, a médio prazo. A fiscalização terá um papel preponderante no sucesso desta medida, ao incluir uma componente informativa e educativa que, em conjunto com a procura de soluções que permitam o cumprimento deste novos requisitos, trará benefícios ambientais relevantes.

A lavagem de ruas, pela sua facilidade de implementação, custos moderados e aceitação social, é uma medida que poderá ser facilmente aplicada nas ruas com maior volume de tráfego e em zonas sujeitas a obras de construção civil, com o objectivo de actuar sobre a ressuspensão de material particulado depositado nas vias de tráfego. Estima-se que o contributo da ressuspensão para as emissões de PM10 seja muito significativo, pelo que esta medida poderá ter um impacto relevante na redução da concentração de PM10 a nível local. Segundo Amato *et al.* (2009) a

lavagem do pavimento numa rua de Barcelona permitiu reduzir entre 7 e 10 % a concentração de PM10 nessa zona.

Como forma de reduzir as emissões provenientes da ressuspensão também deverá ser dada atenção especial às medidas relacionadas com a gestão da mobilidade, nomeadamente, com a redução dos volumes de tráfego rodoviário, em virtude da ressuspensão ter como origem principal a circulação dos veículos.

A redução das emissões de PM10 da combustão residencial é a medida que, potencialmente, terá associada a maior redução nas emissões de PM10 da aglomeração de Braga, apresentando também a melhor relação custo-benefício, de entre as medidas cuja análise foi possível aferir. É uma medida que permitirá, a longo prazo, reduzir a concentração de fundo de PM10, sendo, no entanto, o seu impacto a nível local menor. É por isso premente o desenvolvimento de um sistema de certificação de lareiras, para posterior criação de mecanismos e incentivos que potenciem a substituição das lareiras tradicionais pelos equipamentos certificados.

Apesar das medidas de mitigação da concentração de PM10 propostas se centrarem sobretudo no sector dos transportes, estas não são as que permitem maiores reduções nas emissões de PM10 ao nível da aglomeração. No entanto, estima-se que o seu impacto seja muito relevante, principalmente a nível local, onde ocorrem ultrapassagens ao VL de concentração deste poluente. O impacto crescente desta fonte advém do aumento do número de deslocações efectuadas, recorrendo essencialmente ao transporte individual, cuja utilização tem vindo a crescer substancialmente nos últimos anos, bem como ao aumento do número de quilómetros percorridos por cada veículo.

Consequentemente, a melhoria da qualidade do ar nos centros urbanos passa, inevitavelmente, pela redução das emissões associadas ao tráfego rodoviário. A redução substancial destas emissões poderá exigir a mudança de hábitos há muito enraizados, no que respeita à forma como a população se desloca. Para facilitar a aceitação social das medidas é necessário informar/sensibilizar as populações dos riscos associados às elevadas concentrações atmosféricas de PM10, envolvendo-as na implementação das medidas, criando assim uma noção de responsabilidade civil no que respeita à melhoria da qualidade do ar.

Da análise à medida de redução das emissões dos veículos pesados de mercadorias constata-se que a instalação de filtros de partículas apresenta uma melhor relação custo-benefício relativamente à substituição dos veículos antigos por novos. Teoricamente, seria possível instalar estes filtros nos veículos pesados de mercadorias mais antigos, contudo, a sua elevada emissão de partículas tende a causar problemas de funcionamento dos filtros, dado que a necessidade de regeneração é muito grande (Tente, 2009). Por conseguinte, a instalação de filtros em veículos pré-Euro poderá não ser viável, pelo que se deverá substituir estas viaturas por outras que cumpram normas Euro mais recentes (Euro III ou superior).

A medida de renovação da frota de pesados de passageiros é a que apresenta a relação custo-benefício mais desfavorável. Os elevados custos advêm da antiguidade da frota e da consequente necessidade da sua renovação, nomeadamente a substituição dos veículos que não cumprem qualquer norma EURO por outros que cumpram as normas mais recentes. Apesar de os custos tornarem esta medida de mais difícil implementação, ela é importante, pois as emissões concentram-se principalmente nos centros urbanos, contribuindo para a ocorrência de elevadas concentrações de PM10. Para além disso, a renovação da frota dos transportes públicos, com veículos menos poluentes, mais seguros e confortáveis, torna este meio de transporte mais atractivo, potenciando a sua utilização em detrimento do transporte individual.

7. Considerações finais

Visando a protecção da saúde pública e dos ecossistemas, a DQ da Qualidade do Ar, transposta para a legislação nacional pelo Decreto-lei n.º 276/99, de 23 de Julho, obriga os estados membros a controlar continuamente a qualidade do ar, de forma a identificar eventuais zonas e/ou aglomerações onde os níveis de poluição de um ou mais poluentes sejam superiores ao valor-limite. Nesta situação, deverá ser elaborado e implementado um Plano ou Programa destinado a fazer cumprir o VL.

Tendo-se constatado que na aglomeração de Braga, no período de 2005-2008, foi ultrapassado o VL anual e diário de PM₁₀, torna-se necessária a elaboração de Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar nesta aglomeração. Esta dissertação fornece as directrizes técnicas e científicas de suporte à elaboração do Plano de Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga.

Na aglomeração de Braga estão instaladas duas estações de medição da qualidade do ar, uma urbana de tráfego - Circular Sul, e outra suburbana de fundo - Horto. A análise detalhada dos dados de monitorização das concentrações de PM₁₀ permitiu constatar que o elevado número de ultrapassagens ao VL diário registado anualmente na estação de Circular Sul terá como causa principal o tráfego rodoviário, não sendo de descurar outras fontes de emissão como a combustão residencial. Esta análise possibilitou também confirmar o forte impacto que algumas actividades antropogénicas, tais como obras de construção e a fumigação, têm sobre a qualidade do ar, originando episódios de elevada poluição e contribuindo significativamente para as ultrapassagens ao VL diário de PM₁₀. Os dados de monitorização indiciam ainda que as condições meteorológicas poderão ter uma forte influência nas concentrações de PM₁₀, o que permite explicar os valores registados em 2008, ano em que foram cumpridos os VL para este poluente.

Com o objectivo de reduzir as concentrações de PM₁₀, de forma a cumprir o VL, foram propostas medidas de redução das emissões a implementar na aglomeração de Braga, direccionadas para os diferentes tipos de fontes de emissão relevantes. Estas medidas foram seleccionadas tendo por base a caracterização da qualidade do ar para a aglomeração de Braga, o inventário de emissões para a Região Norte, bem como sua eficiência ambiental e económica, a aceitação por parte das autoridades locais e do público em geral, com base nos exemplos da aplicação de medidas semelhantes no âmbito de outros Planos e Programas para a melhoria da qualidade do ar, mormente, os definidos para a Região Norte.

As medidas propostas incidem sobre as emissões do tráfego automóvel, de processos de produção industrial, bem como da combustão residencial, industrial e comercial.

Em relação às medidas direccionadas para o transporte rodoviário propôs-se que sejam desenvolvidas numa perspectiva integrada, pois a facilidade de implementação e o sucesso de algumas medidas depende, pelo menos parcialmente, da aplicação de outras. As medidas de melhoria da qualidade do ar afectas ao sector dos transportes deverão ser integradas, preferencialmente, nos planos de mobilidade urbana, maximizando os objectivos que se pretendem atingir nestas duas vertentes. A modelação integrada, englobando domínios do uso do solo, transportes, emissões e qualidade do ar, será uma importante ferramenta a adoptar para a definição dos planos de mobilidade.

De forma a estimar o impacto da aplicação de um conjunto de medidas na redução da concentração atmosférica de PM₁₀, foram efectuadas simulações, para o ano de 2008, da concentração deste poluente para o cenário base (sem aplicação das medidas propostas) e cenário de redução (após implementação de um conjunto de medidas), utilizando o modelo TAPM. Este modelo, desenvolvido para computador, tem como dois dos seus pontos fortes a rapidez computacional e a capacidade de simulação de séries temporais longas, permitindo simular a totalidade de um ano civil.

Os resultados do modelo para a Região de estudo foram avaliados através da comparação com os dados meteorológicos e de qualidade do ar adquiridos na rede de monitorização da Região Norte.

A avaliação do modelo TAPM para a componente meteorológica indica que o modelo, embora com algumas limitações, simula de forma satisfatória os parâmetros meteorológicos avaliados.

De referir que, para a validação da simulação meteorológica, não foi possível utilizar os valores medidos em algumas estações de qualidade do ar devido a grandes lacunas de dados meteorológicos para o ano de 2008 e à ausência de validação dos mesmos. Dado que a meteorologia tem um forte impacto na concentração de PM₁₀, seria útil ter dados meteorológicos medidos nas estações de qualidade do ar, como forma de analisar, por exemplo, a relação entre picos de concentração e determinadas condições meteorológicas locais.

No que respeita à componente de poluição atmosférica, o modelo apresenta algumas fragilidades, expostas pelo índice de concordância, cujos valores estão abaixo do que seria desejável. Constatou-se a tendência do modelo para sobrestimar as concentrações de PM₁₀, principalmente na Primavera e Verão, e a subestimar no Inverno, não conseguindo prever as elevadas concentrações médias diárias que foram observadas neste período, o que pode indiciar a existência de fontes de emissão que não estão a ser devidamente consideradas na simulação ou a presença de condições específicas de dispersão que não são bem representadas pelo modelo.

Apesar de terem sido utilizados os dados mais recentes do inventário de emissões de poluentes atmosféricos da Região Norte, este poderá ser ainda uma limitação aos resultados da modelação, sendo necessário um esforço contínuo de melhoria do mesmo de forma a se obterem dados mais detalhados e representativos da realidade.

O cenário de redução foi definido subtraindo ao cenário base as emissões de PM10 evitadas pela aplicação de um conjunto de medidas, dirigidas ao sector dos transportes, indústria e comércio, bem como à combustão residencial. As maiores reduções de emissões testadas no cenário de redução reportam-se à combustão residencial e comercial, combustão industrial e processos de produção, resultantes da aplicação das medidas de redução da combustão residencial e do cumprimento das Portarias que definem VLE de PTS mais restritivos para a indústria e comércio. A medida relativa à instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias é a que mais contribui para a redução das emissões associadas ao tráfego rodoviário.

Em virtude da análise de sensibilidade efectuada, em que se verificou que o TAPM não respondeu de forma totalmente satisfatória às condições de entrada fornecidas, os resultados do modelo devem ser vistos num sentido relativo, ou seja, analisando os diferenciais de concentração entre os dois cenários. Os resultados indicam que a implementação das medidas incluídas no cenário de redução levará a uma redução da concentração média anual de PM10 na aglomeração de Braga entre os 6 e os 11%. O mesmo também acontece com a concentração máxima diária de PM10, com reduções a oscilarem entre estes valores.

De referir ainda que o cenário de redução analisado não abrange todas as medidas de melhoria da qualidade do ar propostas, pela elevada dificuldade em se conseguir estimar a redução pela aplicação das mesmas, pelo que este cenário estima apenas parcialmente a redução da concentração de PM10 passível de ser obtida com a implementação das medidas propostas para o Plano de Qualidade do Ar.

Da análise aos custos e benefícios constatou-se que a redução das emissões de PM10 da combustão residencial é a medida que apresenta a melhor relação custo-benefício, sendo por isso premente o desenvolvimento de um sistema de certificação de lareiras, para posterior criação de mecanismos e incentivos que potenciem a substituição das lareiras tradicionais pelos equipamentos certificados.

Em relação às medidas de tráfego, a introdução de filtros de partículas nos veículos pesados de mercadorias é a medida com melhor relação custo-benefício, enquanto a renovação da frota de pesados de passageiros se encontra na situação inversa.

Apesar das medidas de mitigação da concentração de PM10 propostas se centrarem sobretudo no sector dos transportes, estas não são as que permitem maiores reduções nas emissões de PM10 ao nível da aglomeração. No entanto, estima-se que o seu impacto seja muito relevante, pois em zonas fortemente influenciadas pelas emissões do tráfego rodoviário, por exemplo, a implementação de medidas que visem a redução das emissões por esta fonte, mesmo que tenham pouca relevância ao nível das emissões totais da aglomeração, poderá ter impactos significativos a nível local.

Uma estratégia de extrema importância para a diminuição das emissões de poluentes provenientes deste sector passará por alterações de fundo ao nível do planeamento e ordenamento do território, com a aplicação de diversos instrumentos que permitam inverter tendências na forma como a população se desloca no seu dia-a-dia. A título de exemplo, a promoção da proximidade entre locais de residência e de trabalho reduzirá a necessidade de deslocações em transporte individual. Esta estratégia deverá ser considerada uma medida preventiva cujos efeitos se notarão a longo prazo.

No âmbito da implementação do Plano de Qualidade do Ar da Aglomeração de Braga, a hierarquização das medidas não será uma questão essencial, devido ao reduzido número de medidas e à sua elevada exequibilidade, seja por motivos económicos, ambientais ou político-sociais, existindo um forte potencial de adesão por parte das autoridades responsáveis pela sua aplicação, com base no exemplo da Região Norte e noutros Planos de melhoria da qualidade do ar.

No entanto, devem-se destacar as medidas de âmbito informativo/educativo, cuja implementação se considera imprescindível, pois estimulam a aceitação social das medidas e envolvem a população na aplicação das mesmas.

Constatou-se ainda que algumas das medidas potencialmente mais eficientes precisam de vários anos para serem implementadas. Este facto prende-se, entre outras razões, com a necessidade de estudos para uma definição completa e detalhada de determinadas medidas (melhoria da rede de transporte públicos, por exemplo) e de criação de normas e/ou legislação específica que permita a sua prossecução (para certificação dos equipamentos de combustão residencial, por exemplo). Por vezes, a responsabilidade das medidas encontra-se distribuída por várias entidades, diferentes níveis administrativos ou autoridades, o que tende também a dificultar e retardar a sua aplicação. Por conseguinte, é fundamental a inclusão das entidades responsáveis pela implementação das medidas desde a fase inicial de definição das mesmas, fomentando-se a interação e troca de informação, de forma a acelerar o seu processo de implementação.

A cooperação entre entidades com responsabilidade a diferentes níveis administrativos facilitará a conjugação das medidas de âmbito local com as supra-municipais, promovendo a melhoria da qualidade do ar ao nível local, regional e nacional.

Referências

- Amato, F., Querol, X., Alastuey, A., Pandolfi, M., Moreno, T., Gracia, J., Rodriguez, P. (2009). *Evaluating urban PM10 pollution benefit induced by street cleaning activities*, Atmospheric Environment, vol. 43, pp 4472-4480.
- Alves, C. (2005). *Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica*. Química Nova.
- AFN (2009). *Áreas ardidas e ocorrências em 2008*, Autoridade Florestal Nacional.
- Air4EU (2006). *Air Quality Assessment for Europe: from local to continental scale, First recommendations for best methods and techniques for conducting air quality assessment at regional/continental scale*, 6th Framework Programme- Policy oriented Research, Priority 8.1 Topic 1.5 Task 2, August 2006. http://www.air4eu.nl/reports_products.html
- Bessagnet, B., Hodzic, A., Vautard, R., Beekmann, M., Cheinet, S., Honoré, C., Liousse, C., Rouil, L. (2004). *Aerosol modeling with CHIMERE-preliminary evaluation at the continental scale*, Atmospheric Environment 38, pg. 2803-2817.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Carvalho, A., Sá, E., Martins, H., Sousa, S. (2008a). *Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar na Região Norte - uma visão para o período 2001-2006*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-07/2008, Portugal.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Carvalho, A., Sá, E., Sousa, S. (2010a). *Programa de Execução da Região Norte - Relatório de monitorização de ações Out 2009-Abr 2010*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-02/2010, Portugal.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Costa, A., Sousa, S., Figueiredo, C., (2009a). *Avaliação da Qualidade do Ar na Região Norte - 2007*, relatório R2, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, R2-AMB-QA-07/2009, Portugal.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Ferreira, J., Tchepel, O., Monteiro, A., Dias, D., Ribeiro, I., Tavares, R., Barbedo, P. (2009b). *Melhoria do Actual Inventário de Poluentes Atmosféricos da Região Norte - relatório final*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-09/2009, Portugal.
- Borrego, C., Miranda, A.I., Monteiro, A., Martins, H., Ferreira, F., Salmim, L., Sousa, S., Coutinho, M., Pereira, M., (2006). *Planos e Programas de ação para a melhoria da qualidade do ar na Região Norte - relatório síntese 2001-2003*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-11/2006, Portugal.
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, A.I., Costa, A.M., Carvalho, A.C., Lopes, M. (2008b). *Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment*. Environment International 34 (2008) 613-620.
- Borrego, C., Valente, J., Carvalho, A., Sá, E., Lopes, M., Miranda, A. I. (2010b). *Contribution of residential wood combustion to PM10 levels in Portugal*, Atmospheric Environment, vol.44, pp 642-651.
- CAFÉ (2004): *Second Position Paper on Particulate Matter - Final Draft*, Working Group on Particulate Matter.

Carvalho, A. (2008). *Os incêndios florestais e a qualidade do ar em cenário de alteração climática*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.

Chang, Y., Chou, C., Su, K., Tseng, C. (2005). *Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP*, Atmospheric Environment, vol. 39, pp 1891-1902.

CONCAWE (1998). *A study of number, size & mass of exhaust particles emitted from European diesel and gasoline vehicles under steady - state and European driving cycle conditions*, Report n. ° 98/51, Brussels.

CONCAWE (1999). *The health effects of the PM2.5(including ultrafine particles)*, Report n° 99/55, Brussels.

Cuvelier, C. [et al.] (2007). *CityDelta: A model intercomparison study to explore the impact of emission reductions in European cities in 2010*, Atmospheric Environment, Volume 41, Issue 1, pg. 189-207.

Defra (2007). *An Economic Analysis to inform the Air Quality Strategy - Updated Third Report of the Interdepartmental Group on Costs and Benefits*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Reino Unido.

Defra (2009a). *Local Air Quality Management, Practice Guidance 3, Practice Guidance to Local Authorities on Measures to Encourage the Uptake of Low Emission Vehicles*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Reino Unido. Disponível em www.defra.gov.uk/environment/airquality/index.htm

Defra (2009b). *Local Air Quality Management, Practice Guidance 1, Economic Principles for the Assessment of Local Measures to Improve Air Quality*, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Reino Unido. Disponível em www.defra.gov.uk/environment/airquality/index.htm

Denby, B. [et al.] (2010). *Guidance on the use of models for the European Air Quality Directive*, ETC/ACC report, Version 5.1.

DGRF (2006). *Incêndios Florestais - relatório de 2005*, Direcção Geral dos Recursos Florestais.

DGRF (2007). *Incêndios Florestais - 2006, relatório final*, Direcção Geral dos Recursos Florestais.

DGRF (2008). *Defesa da Floresta Contra Incêndios - relatório 2007*, Direcção Geral dos Recursos Florestais.

Duering, I. and A., Lohmeyer (2003). *Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Straßen auf der Basis von vorhandenen Messdaten*. Disponível em: <http://www.lohmeyer.de>

EEA (1999). *Criteria for EUROAIRNET: The EEA Air Quality Monitoring and Information Network*. EEA, Technical report. N° 12, Copenhagen.

EEA (2007). *Air pollution in Europe 1990-2004*, European Environment Agency, EEA Technical report n.1, Copenhagen, 2007.

EEA (2009). *Spatial assessment of PM10 and ozone concentrations in Europe (2005)*, European Environment Agency, EEA Technical report n.1, Copenhagen, 2009.

Environmental Protection Agency (EPA) (1991). *Guideline for regulatory application of the Urban Airshed Model*. Research Triangle Park, N.C.: Office of Air Quality Planning and Standards; EPA report nos. EPA - 450/4-91-013.

Ferreira, J. (2007). *Relação Qualidade do Ar e exposição humana a poluentes atmosféricos*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.

Ferreira, F., Freitas, J., Monjardino, J., Gomes, P., Mesquita, S., Figueiredo, C. (2009a). *Reavaliação das Zonas e Aglomerações da Região Norte*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Gomes, P., Pereira, P., Nogueira, L., Santos, F. (2006). *Avaliação do impacto nos níveis de partículas inaláveis resultante do reforço das lavagens na Avenida da Liberdade*, DCEAFCT/Universidade Nova de Lisboa, CCDR-LVT e CML, Lisboa.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2007). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2006*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2008). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2007*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2009b). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2008*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Grell, G.A., Dudhia, J., Stauffer, D.R. (1994). *A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)*, NCAR Technical Note TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO.

Harrison, R.M., Yin, J., Mark, D., Stedman, J., Appleby, R.S., Booker, J., Moorcroft, S. (2001). *Studies of the coarse particle (2.5-10 μ m) component in UK urban atmospheres*, Atmospheric Environment.

Holmes, N.S., Morawska, L. (2006). *A review of dispersion modelling and its application to the dispersion of particles: An overview of different dispersion models available*, Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 30, Pg. 5902-5928.

Hurley, P. J. (2005). *The Air Pollution Model (TAPM) Version 3, Part 1: Technical Description*, CSIRO.

IA (2001). *Delimitação de Zonas e Aglomerações para Avaliação da Qualidade do Ar em Portugal*, Instituto do Ambiente.

IA (2004). *Programa para os tectos de Emissão Nacional, Estudos de base: Medidas para o controlo das emissões nacionais de COVNM*, Instituto do Ambiente/Universidade Nova de Lisboa

Ketzel, M., Omstedt, G., Johanson, C., During, I., Gidhagen, L., Lohmeyer, A., Berkowicz, R., Wahlin, P., (2005). *Estimation and validation of PM_{2.5}/PM₁₀ exhaust and non-exhaust emission factors for street pollution modelling*, Proceedings of the 5th International Conference on Urban Air Quality, eds. Ranjeet Sokhi, Millán M Millán and Nicolas Moussiopoulous, Proceedings in CD-Rom. Valencia, Espanha.

KBR (2004): *High Occupancy Vehicle Lanes Feasibility Study*, Novembro 2004.

Kraft, M. (1998). *Clean air and the Adirondacks: science, politics, and policy choice* *Environmental Science & Policy*, Volume 1, Issue 3, pg. 167-173

- Lahl, U., Steven, W. (2005). *Traffic guidance and restrictions - Legally permissible options for air quality control policy*, Internationales Verkehrswesen.
- Longhurst, J.W.S., Elsom, D.M., Power, H. (2000). *Air Quality Management*, WIT Press, USA [etc.].
- Luhar, A., Hurley, P. (2004). *Application of a prognostic model TAPM to seabreeze flows, surface concentrations and fumigation plumes*. Environmental Modelling and Software. 19: 591-601.
- Martins, V. M. S. (2007). *Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Matter, U., Siegmann, H. C., Burtcher, H. (1999). *Dynamic field measurements of submicron particles from diesel engines*, Environ. Sci. Technol.
- Monteiro, A. (2009). *Procedimento de Garantia e Controlo de Qualidade para a Previsão da Qualidade do Ar*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Monteiro, A. (2007). *Desenvolvimento de um sistema de avaliação e previsão da qualidade do ar em Portugal*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.
- Monteiro, A., Vautard, R., Borrego, C., Miranda, A.I. (2005). *Long-term simulations of photo oxidation pollution over Portugal using the CHIMERE model*. Atmospheric Environment 39 (2005) 3089-3101.
- Nagl, C., Moosmann, L., Schneider, J. (2006). *Assessment of Plans and Programmes Reported Under 1996/62/EC - Final Report*, Viena.
- Norman, M., Johansson, C. (2006). *Studies of some measures to reduce road dust emissions from paved roads in Scandinavia*, Atmospheric Environment, vol. 40, pp 6154-6164.
- Parkhurst, G. (2004). *Air quality and the environmental transport policy discourse in Oxford*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 9, Issue 6, pg. 419-436.
- Pio, C.A. (1998). *Poluição Atmosférica II*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Pio, C.A., Ramos, M.M., Duarte, A.C. (1998). *Atmospheric aerosol and soiling of external surfaces in an urban environment*, Atmospheric Environment, vol. 32, nr 11, pp 1979-1989.
- Pio, C.A., Castro, L.M., Cerqueira, M.A., Santos, I.M., Belchior, F. e Salgueiro, M.L. (1996). *Source Assessment of particulate air pollutants measured at the southwest European coast*, Atmospheric Environment, Vol. 30, No. 19, pp.3309-3320.
- Pregger, T. e Friedrich, R. (2002). *Emission Sources of PM10 (Coarse and Fine Fraction) in Germany, Universität Stuttgart, Stuttgart*. Presentation at 'Particles in the size of 2.5 to 10 microns in urban areas' workshop, in support of the Clean Air for Europe (CAFE) programme of DG ENV in Berlin, Germany, November 4-6, 2002. <http://www.trumf.fu-berlin.de/veranstaltungen/>
- Querol, X. [et al.] (2004). *Levels of PM in rural, urban and industrial sites in Spain*, Seventh International Highway & Urban Pollution Symposium, Barcelona, 20-23 May 2004.
- Querol, X. [et al.] 2003. *Levels of particulate matter in rural, urban and industrial sites in Spain*, The Science of Total Environment (Special Issue: Urban Pollution, in press).

- Reid, N., Misra, P. K., Amman, M., Hales, J. (2007). *Air quality modeling for policy development*. Journal of Toxicology and Environmental Health-Part A, 70 (3-4), 295-310.
- Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O. (2001). *Saharan dust contributions to PM₁₀ and TSP levels in Southern and Eastern Spain*, Atmospheric Environment nr 35 (14), 2433-2447.
- Rodríguez, S.G. (2002). *Sources and processes affecting levels and composition of atmospheric particulate matter in the Western Mediterranean*, Tese de doutoramento apresentada à Universidade politécnica da Catalunha.
- Sadler Consultants (2006). *Assessment of the impact on costs and emissions of technical measures on existing heavy duty vehicles and captive fleet*, Draft report, prepared for DG Environment, ENV.C.1/SER/2006/0013r.
- Sá, M. E., Calado D. (2007): *Aplicação de um modelo de qualidade do ar para a região litoral centro*. Relatório final de projecto do curso de eng. do ambiente, Universidade de Aveiro.
- Schrooten, L., Vlieger, I. D., Lefebvre, F., Torfs, R. (2006). *Costs and benefits of an enhanced reduction policy of particulate matter exhaust emissions from road traffic in Flanders*, Atmospheric Environment vol. 40, pp 904-912.
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics, from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons, Inc., EUA.
- Schmidt, H., Derognat, C., Vautard, R., Beekmann, M. (2001). *A comparison of simulated and observed O₃ mixing ratios for the summer of 1998 in Western Europe*, Atmospheric Environment 35, pg. 6277-6297.
- Sousa, P. (2008). *Simulação da qualidade do ar para Portugal com o modelo TAPM*. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Sousa, S. (2007). *Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região Norte*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente.
- Tchepel, O. (2003). *Modelo de emissões para apoio à decisão na Gestão da Qualidade do Ar*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.
- Tente, H., Gomes, P. (2009). *Relatório Final - Testes com Filtros de Partículas em veículos pesados*, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- Thunis, P. [et al.] (2007). *Analysis of model responses to emission-reduction scenarios within the CityDelta project*, Atmospheric Environment, Volume 41, Issue 1, Pg. 208-220.
- Vautard, R. [et al.], 2007. *Evaluation and intercomparison of Ozone and PM₁₀ simulations by several chemistry transport models over four European cities within the CityDelta project*, Atmospheric Environment, Volume 41, Issue 1, Pg. 173-188.
- Vixseboxse E. and F. de Leeuw (2008). *Report on ambient air quality assessment 2006, Member States reporting ('The Questionnaire')* ETC/ACC Technical Paper 2008/2. http://air-climate.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TP2008_2_AQQ2006
- Vixseboxse E. and F. de Leeuw (2009). *Reporting on ambient air quality assessment 2007, Member States reporting ('The Questionnaire')* ETC/ACC Technical Paper 2009/2

Sítios na internet:

URL 1: National Aeronautics and Space Administration:
http://veimages.gsfc.nasa.gov/2203/S2001303.L1A_HDUN_ROM_CAN.AfricanDustOverEurope.png

URL2: EUROTRAC2 - SATURN project: <http://aix.meng.auth.gr/saturn/>

URL3: COST728: <http://www.cost728.org/>

URL4: COST732: <http://www.mi.uni-hamburg.de/Home.484.0.html>

URL5: AIR4EU: <http://www.air4eu.nl/>

URL 6: PREVQUALAR - Previsão do Índice de Qualidade do ar:
<http://www.prevqualar.org/home.do>

URL 7: <http://www2.dao.ua.pt/gemac/ensemblair/links.html>

URL 8: Instituto nacional de estatística - censos 2001: http://ine-linx01.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=377623&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=21730625

URL 9: Google Maps: <http://www.google.com/maps>

URL 10: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte: <http://www.ccdr-n.pt/>

URL 11: CIVITAS - Cleaner and better transport in cities: <http://www.civitas-initiative.org/main.phtml?lan=en>

URL 12: Mercedes-Benz Portugal: http://www.mercedes-benz.pt/content/portugal/mpc/mpc_portugal_website/ptng/home_mpc/van/home/new_vans/models/vito_639/mixto/overview/dynamics.0004.html

URL 13: Citizen.com - aluguer de automóveis: <http://www.citizen.com/>

URL 14: CarSharing - Solução de Rentabilização e Gestão de Frotas:
http://www.compta.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=102

URL 15: Galpshare: <http://www.energiapositiva.pt/>

URL 16: Carpool - partilha de viagens: <http://www.carpool.com.pt/>

URL 17: Deboleia - partilha de viagens: <http://www.deboleia.com/>

URL 18: Vias de alta ocupação: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:HOV_Lane.jpg

URL 19: Vias de alta ocupação:
<http://www.transportscotland.gov.uk/files/documents/projects/StrategicProjectsReviewEtc/FCReport4/FRCS-Report4-AppendixG.pdf>

URL 20: Hearth, Patio and Barbecue association: <http://hpba.org>

URL 21: Programa Melhor(ar) a Norte: <http://www.melhoraranorte.pt/>

URL 22: Sistema Nacional de informação de Recursos hídricos: <http://snirh.pt/>

Anexos

Anexo A - Concelhos e freguesias incluídos na aglomeração de Braga - área, população e densidade populacional

A aglomeração de Braga estende-se por uma área de cerca de 83,56 km² com uma população residente de aproximadamente 134000 pessoas (INE, 2001), que abrange 35 freguesias pertencentes ao concelho de Braga e uma freguesia do concelho de Vila Verde (tabela A.1). A aglomeração de Braga encontra-se representada na figura A.1.

O concelho de Braga localiza-se no vale do Cávado, na região Noroeste de Portugal Continental, latitude N 41° 32' 39'' e longitude W 8° 25' 19''. Faz fronteira a Norte com os concelhos de Vila Verde e Amares, a Nordeste e Este com Póvoa de Lanhoso, a Sul e Sudeste com Guimarães e Vila Nova de Famalicão e a Oeste com o concelho de Barcelos (URL 1).

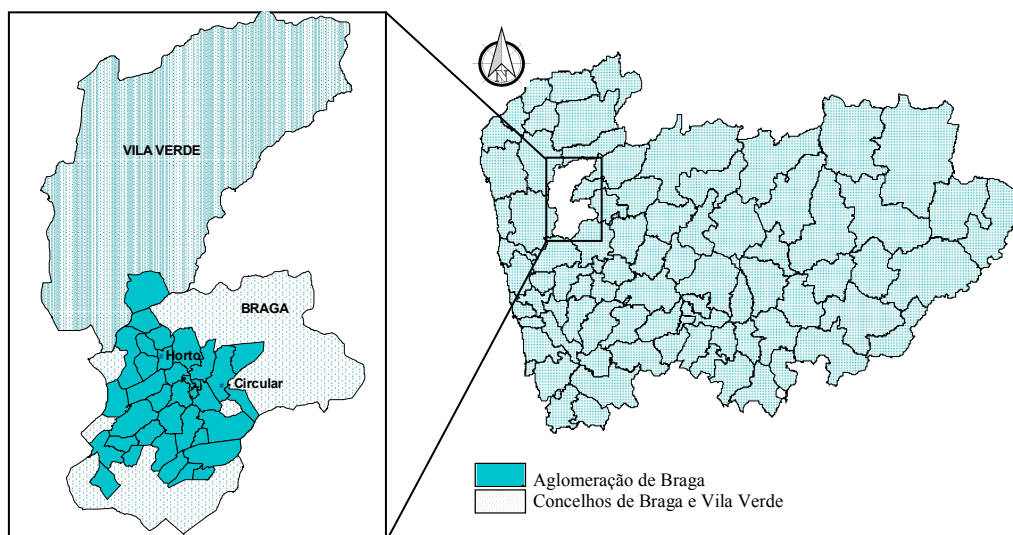


Figura A.1: Representação da Região Norte, com destaque para a Aglomeração de Braga e freguesias pertencentes à mesma.

Administrativamente, o concelho de Braga é a capital do distrito de Braga e abrange 62 freguesias, com uma população total residente um valor de 164 192 habitantes, em 2001, sendo um concelho predominantemente urbano, principalmente em torno da cidade. (URL 1).

A altitude do Concelho varia entre 20 m e 572 m, encontrando-se a cidade a uma altura média de 215 m. Predominam as zonas de vale, que não atingem altitudes elevadas, variando os seus valores entre os 20 e os 570 metros. A Norte, o Concelho é limitado pelo Rio Cávado, e o terreno é semi-plano. A parte Este é montanhosa devido à Serra do Carvalho (479 m), Serra dos Picos (566 m), Monte do Sameiro (572 m) e Monte de Santa Marta (562 m). Entre a

Serra dos Picos e o Monte do Sameiro existe o planalto de Sobreposta-Pedralva. A Sul e a Oeste, o terreno é um misto de montanhas, colinas e médios vales.

O clima é atlântico temperado, o que se deve ao facto do Concelho se situar entre serras e o Oceano Atlântico, influenciado pelos ventos de Oeste que são canalizados ao longo dos principais vales, transportando massas de ar húmido. A humidade relativa apresenta valores que rondam os 80 %, o que permite a manutenção dos valores médios da temperatura anual entre os 12,5 °C e 17,5 °C. No entanto, devido ao acentuado arrefecimento nocturno, geram-se frequentemente geadas, cuja época dura de três a quatro meses, cerca de trinta dias de geada por ano. A precipitação anual ronda os 1.659 mm, com maior intensidade nas épocas de Outono, Inverno e Primavera (URL 1).

O concelho de Braga possui um vasto conjunto de vias de comunicação que permitem a mobilidade da população residente e a comunicação da mesma com as populações dos concelhos vizinhos. A cidade possui ainda uma circular que distribui o trânsito citadino, e que a conecta a importantes vias. A Sul, há vias que estabelecem comunicação aos Concelhos de Guimarães e de Vila Nova de Famalicão, bem como um acesso à Auto-Estrada número 3, a qual permite a ligação ao Porto e a Valença. A Norte, a população possui várias vias que permitem a comunicação com o concelho de Vila Verde. A Oeste, existe ligação ao concelho de Barcelos e outro acesso à Auto-Estrada número 3.

O Concelho de Braga é servido pelos “Transportes Urbanos de Braga - Empresa Municipal” (TUB), que é responsável pelo transporte de passageiros dentro dos limites geográficos do concelho.

No centro da cidade existe uma central de camionagem, onde várias empresas de transporte rodoviário fazem ligações para diversos destinos, quer a nível distrital, regional, nacional e internacional.

Este concelho possui também uma estação (terminal) de caminhos-de-ferro, situada na Freguesia de Maximinos, que oferece vários serviços de comboio (urbanos, intercidades e alfa-pendular).

Os aeroportos mais próximos são o Aeroporto Sá Carneiro (a 50 Km) no Porto, o Aeroporto de Vigo (a 100 Km) na região autónoma espanhola da Galiza e o Aeroporto da Portela em Lisboa (a 300 Km).

Os portos marítimos mais próximos localizam-se um em Viana do Castelo (a 50 Km) e o outro em Leixões (a 50 Km).

O concelho de Vila Verde é limitado a norte pelo concelho de Ponte da Barca, a Oeste pelos de Barcelos e Ponte de Lima, a Este por Terras de Bouro e a Sudeste pelos de Amares e Braga, de que fica separado pelos rios Homem e Cávado, respectivamente. Com uma área de 228,7 km², apresenta uma população com cerca de 46 mil habitantes distribuídos por 58 freguesias. A única freguesia deste concelho que pertence à aglomeração - Vila do Prado - faz fronteira

com as freguesias de Soutelo, Lage, Oleirose e Cabanelas, pertencentes ao concelho de Vila Verde, Merelim (S. Paio) e Mire de Tibães, pertencentes ao concelho e aglomeração de Braga (URL 1).

Tabela A.1: Freguesias pertencentes à Aglomeração de Braga, área, população residente e densidade populacional das mesmas (adaptado de IA, 2001; URL 2).

Concelho	Freguesia	Área (km ²)	População Residente (nº habitantes)	Densidade populacional (hab/km ²)
Braga	Arcos	1,50	658	439
Braga	Aveleda	2,24	2253	1006
Braga	Braga (Cividade)	0,29	1884	6497
Braga	Braga (Maximinos)	1,71	10030	5865
Braga	Braga (São João do Souto)	0,22	932	4236
Braga	Braga (São José de São Lazaro)	1,76	14830	8426
Braga	Braga (São Vicente)	1,29	12162	9428
Braga	Braga (São Vitor)	2,32	25407	10951
Braga	Braga (Sé)	0,32	3587	11209
Braga	Cabreiros	2,46	1638	666
Braga	Celeirós	2,37	2998	1265
Braga	Dume	4,57	3081	674
Braga	Esporões	4,58	1845	403
Braga	Ferreiros	3,24	6857	2116
Braga	Figueiredo	1,60	1218	761
Braga	Fradelos	1,92	678	353
Braga	Frossos	1,31	1423	1086
Braga	Gondizalves	1,92	1409	734
Braga	Gualtar	3,82	3807	997
Braga	Lamações	1,92	1364	710
Braga	Lamas	0,93	708	761
Braga	Lomar	2,91	5546	1906
Braga	Merelim (Sao Paio)	2,50	2365	946
Braga	Merelim (Sao Pedro)	2,50	1710	684
Braga	Mire de Tibães	5,15	2389	464
Braga	Nogueira	3,63	4815	1326
Braga	Panoias	1,12	1630	1455
Braga	Parada de Tibes	1,80	798	443
Braga	Real	1,53	4871	3184
Braga	Ruilhe	2,01	1306	650
Braga	Semelhe	3,62	847	234
Braga	Sequeira	4,67	2030	435
Braga	Tadim	1,21	886	732
Braga	Trandeiras	0,89	703	790
Braga	Vilaça	2,29	893	390
Vila Verde	Vila de Prado	5,43	4381	807
Nº total de habitantes na aglomeração		83,56	133939	1603

Referências

IA (2001): *Delimitação de Zonas e Aglomerações para Avaliação da Qualidade do Ar em Portugal*, Instituto do Ambiente.

URL 1: Câmara Municipal de Braga: <http://www.cm-braga.pt>

URL 2: Instituto nacional de estatística - censos 2001: http://ine-linx01.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=377623&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=21730625

Anexo B - Razões apontadas para a ultrapassagem do valor limite diário de PM10 na estação de Horto, em 2007

Tabela B.1: Razões apontadas para as excedências ao valor-limite de concentração diária de PM10 na estação de Horto, em 2007.

Código da zona	Código Eol da estação	Mês	Dia do mês	Nível ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Código(s) da razão	Estação
PT1001	PT0138A	1	3	54	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	4	62	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	5	76	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	6	55	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	12	56	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	13	58	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	14	52	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	15	61	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	16	63	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	30	61	S5	Horto
PT1001	PT0138A	1	31	62	S5	Horto
PT1001	PT0138A	2	1	61	S5	Horto
PT1001	PT0138A	2	2	55	S5	Horto
PT1001	PT0138A	2	3	63	S5	Horto
PT1001	PT0138A	2	4	57	S5	Horto
PT1001	PT0138A	2	6	53	S5	Horto
PT1001	PT0138A	3	13	54	S5	Horto
PT1001	PT0138A	3	15	51	S5	Horto
PT1001	PT0138A	10	23	58	S5	Horto
PT1001	PT0138A	10	25	71	S5	Horto
PT1001	PT0138A	11	3	57	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	6	60	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	7	59	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	8	86	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	9	72	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	11	52	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	12	66	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	13	96	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	14	86	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	16	58	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	17	67	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	18	86	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	29	63	S15	Horto
PT1001	PT0138A	11	30	63	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	1	67	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	12	58	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	13	103	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	14	76	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	15	83	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	16	101	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	17	77	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	18	77	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	22	69	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	25	63	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	28	63	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	29	93	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	30	55	S15	Horto
PT1001	PT0138A	12	31	51	S15	Horto

S5 – aquecimento doméstico; S15 – Jardinagem.

Anexo C - Concentrações médias anuais e ultrapassagens do valor-limite horário de concentração de PM₁₀ nas estações da Região Norte, em 2008

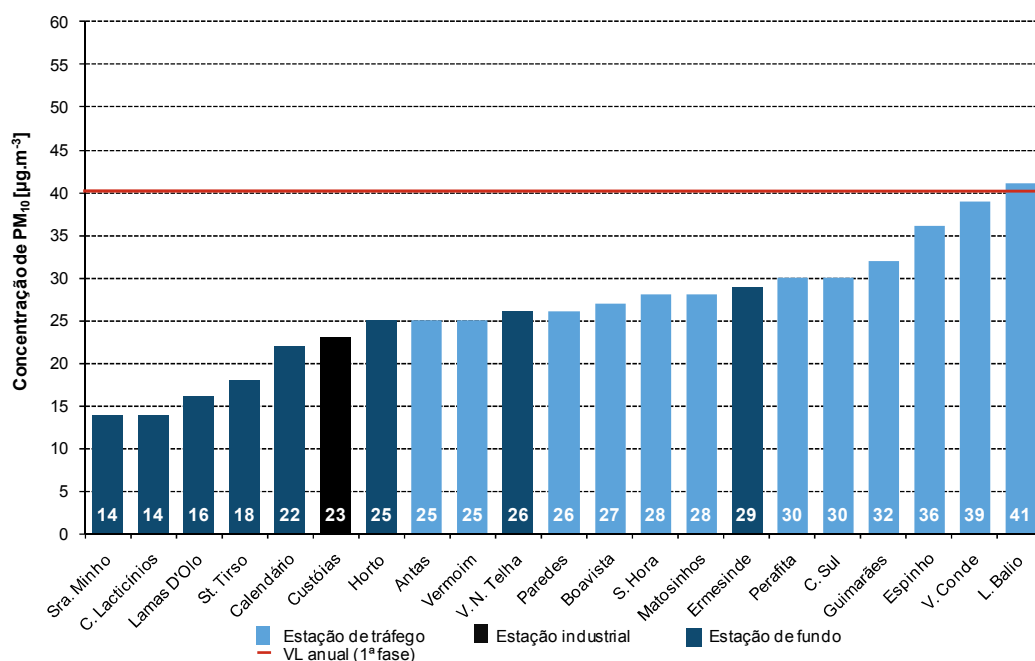


Figura C.1: Concentrações médias anuais de PM₁₀ nas estações da Região Norte, em 2008.

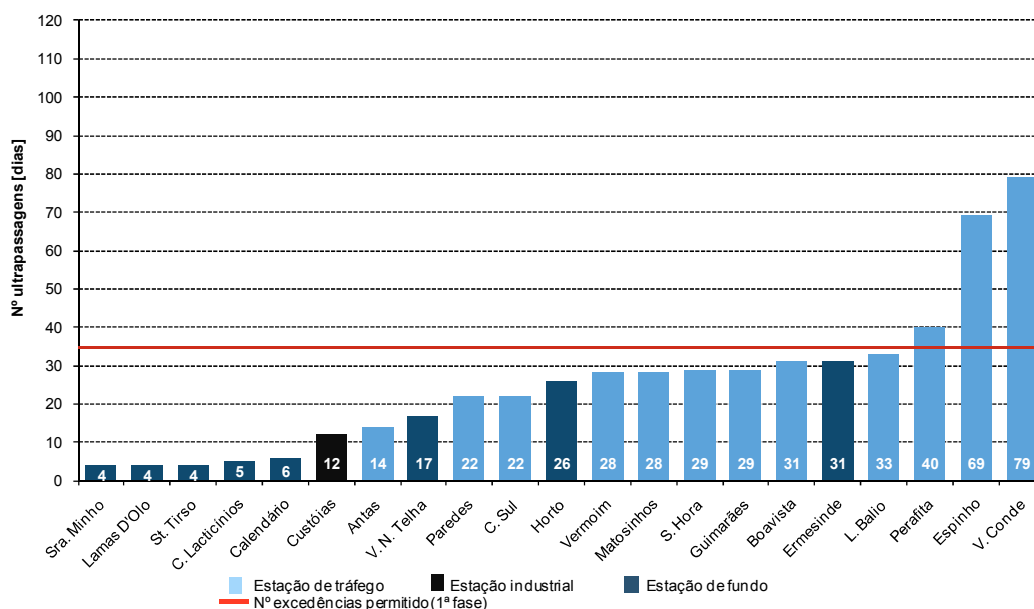


Figura C.2: Ultrapassagens do valor-limite de concentração de PM₁₀ nas estações da Região Norte, em 2008.

Anexo D - Metodologia para identificação e avaliação de eventos naturais utilizada por Ferreira *et al.* (2007, 2008, 2009)

A identificação e avaliação de eventos naturais nos anos de 2006, 2007 e 2008, para efeitos de verificação das excedências ao valor limite diário de concentração de PM₁₀ que se deveram a esta causa, foram efectuadas por Ferreira *et al.* (2007, 2007, 2009).

D.1. Poeiras do Norte de África

A metodologia utilizada para Identificação e avaliação de eventos naturais com origem na intrusão de ar proveniente do Norte de África poderá ser resumida da seguinte forma:

Identificação da ocorrência deste fenómeno em secções geográficas (Figura D.1), para todo o domínio da Península Ibérica, através dos dados das estações rurais de fundo nelas localizadas (que representam a qualidade do ar livre da influência das fontes de emissão antropogénica);

Para cada dia identificado como dia de evento natural em cada estação rural de fundo, representativa da secção regional definida para Portugal (figura D.2), determina-se o percentil 30 dos 30 dias centrados nesse dia de evento (sendo o dia de evento o 15.º e não incluindo o valor registado neste dia);

A diferença entre o valor de PM₁₀ registado no dia de evento e o percentil 30 mensal centrado nesse dia desse dia corresponde à contribuição de PM₁₀;

A contribuição é subtraída ao valor registado em cada estação da rede de qualidade do ar que pertence à região da estação rural de fundo seleccionada para representar cada secção. Se o resultado da subtracção for inferior ao limite diário, então considera-se que essa excedência foi causada pela intrusão de ar africano.

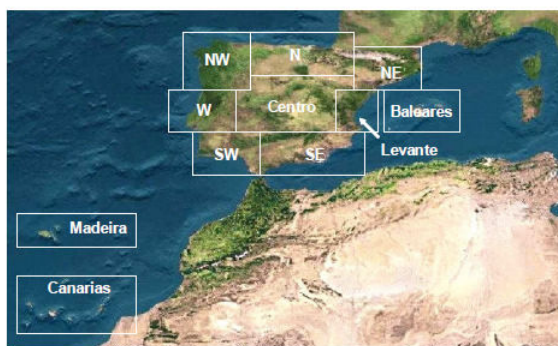


Figura D.1: Secções de identificação da intrusão de ar na Península Ibérica e Arquipélagos.

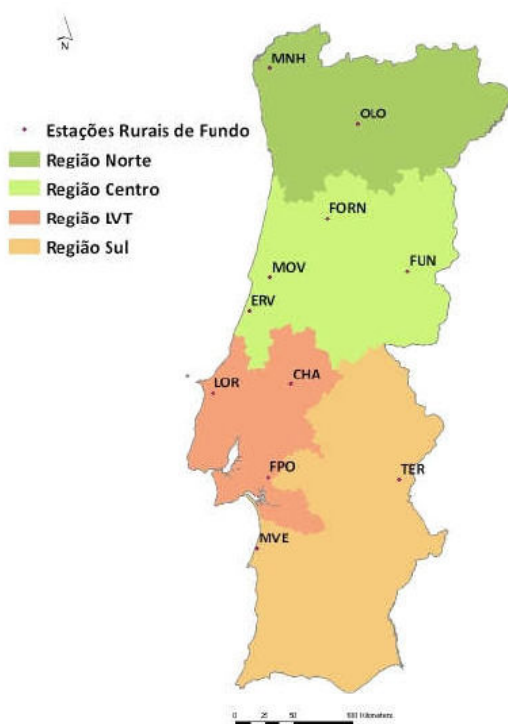


Figura D.2: Secções regionais e estações representativas utilizadas para a quantificação da contribuição de eventos naturais no território continental.

D.2. Incêndios florestais

A Metodologia utilizada para a identificação de influência de incêndios florestais na qualidade do ar poderá resumir-se do seguinte modo:

1. Identificação de ocorrência de incêndio registado na base de dados de incêndios florestais 2008, fornecido pela Direcção Geral de Recursos Florestais.
2. Identificação de ocorrência de incêndio através do arquivo de incêndios geo-referenciados disponibilizado pelo serviço on-line da University of Maryland - **Web Fire Mapper**.
3. Consulta do arquivo histórico das imagens do satélite Aqua e Terra (tem instalado a bordo o sensor **MODIS**) para o sector da Europa, disponibilizadas on-line pela NASA.
4. Determinação do alcance da influência de incêndio através do modelo de dispersão on-line **HYSPLIT** - Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory.

No caso da análise anterior ser conclusiva, poderá justificar-se a excedência ocorrida com origem no incêndio florestal.

Esta identificação é aplicada apenas para os dias nos quais as várias estações de uma dada zona/Aglomeração se encontrem em situação de excedência, e que não coincidam com dias de ocorrência de intrusão de ar proveniente do Norte de África.

Dado o diferente padrão de distribuição espacial das estações em zonas e em aglomerações (mais dispersas em zonas e mais próximas em aglomerações), a identificação de dias de influência de incêndio florestal é feita, em conjunto para o grupo de estações que pertençam a uma dada aglomeração (atribuindo-se a classificação de dia com influência de incêndio a todas as estações nela contidas), e individualmente para as estações que pertençam a zonas (que não aglomerações).

Referências

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2007): *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2006*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2008): *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2007*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2009b): *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2008*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Anexo E - Metodologia para identificação e avaliação de eventos naturais de 2005 utilizada por Borrego *et al.* (2008)

A identificação e avaliação de eventos naturais para o ano de 2005 foram efectuadas por Borrego *et al.* (2008).

E.1. Poeiras do norte de África

A determinação da influência dos eventos de transporte de poeiras do Norte de África entre 2001 e 2006 foi realizada recorrendo a diversas ferramentas:

Modelo DREAM: O modelo DREAM (*Dust REgional Atmospheric Model*) foi desenvolvido pelo *Euro-Mediterranean Centre on Insular Coastal Dynamics* da Universidade de Malta com o objectivo de descrever correctamente o ciclo de vida atmosférico das partículas resultantes da acção erosiva dos ventos sobre os desertos Africanos. O sistema funciona operacionalmente, fornecendo o valor do índice de aerossóis (g.m^{-2}) para a região do Mediterrâneo; os resultados estão disponíveis na Internet. A utilização deste modelo permite analisar qual a distribuição do índice de aerossóis sobre o território nacional e identificar a contribuição das tempestades de poeiras com origem nos desertos africanos nos dias em que se tenham verificado ultrapassagens ao VL das partículas.

Índice de aerossóis NASA-TOMS: Como complemento à informação fornecida pelo modelo DREAM, foi também analisado o índice de aerossóis fornecido pela NASA-TOMS (*Total Ozone Mapping Spectrometer*).

Modelo HYSPLIT: O modelo HYSPLIT (*HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model*), desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* dos Estados Unidos, é um sistema completo que calcula trajectórias e campos de dispersão e deposição de partículas e gases. O modelo encontra-se disponível on-line, sendo de aplicação simples. O HYSPLIT foi utilizado para calcular as retro-trajectórias de partículas de ar de modo a determinar a sua origem. O modelo foi aplicado para altitudes de massas de ar de 750, 1500 e 2500 metros e para um período de 5 a 10 dias, no caso de suspeita de transporte a partir dos desertos Africanos, de acordo com a literatura, e 250, 500 e 750 metros e para um período de 1 a 2 dias, no caso de ocorrência de incêndios florestais.

Modelo NAAPS: O modelo de previsão de aerossóis troposféricos NAAPS (*Navy Aerosol Analysis and Prediction System*) foi desenvolvido no laboratório de pesquisa naval (*Naval Research Laboratory*) em Monterey, Califórnia. Algumas das suas previsões são a profundidade óptica e a concentração à superfície de partículas, fumo e sulfatos.

Modelo SKYRON: Desenvolvido na Universidade de Atenas, o modelo SKYRON apresenta-se como um modelo de previsão de carga de partículas, fornecendo também informação da deposição seca e húmida, pressão ao nível médio do mar, precipitação acumulada, temperatura, altura geopotencial e campos de ventos.

E.2. Incêndios florestais

Para a determinação da influência dos incêndios florestais nas concentrações de partículas na Região Norte no período 2001-2006, foram conduzidas análises recorrendo a diversos instrumentos:

- Informação da Direcção Geral de Recursos Florestais: relatórios anuais de incêndios florestais;
- Modelo HYSPLIT;
- Retrotrajectórias calculadas para 2/3 dias antes da ocorrência do episódio, para averiguar a possível passagem de massas de ar sobre áreas de incêndio com destino às estações com registo de excedências;
- Cálculo de campos de dispersão e visualização dos mesmos no software GoogleEarth;
- Arquivo de incêndios geo-referenciados *Web FIRE Mapper*;
- Imagens de satélite do sensor MODIS.

Referências

Borrego, C., Miranda, A.I., Carvalho, A., Sá, E., Martins, H., Sousa, S. (2008): Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar na Região Norte - uma visão para o período 2001-2006, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-07/2008, Portugal.

Anexo F - Número de excedências anuais ao valor-limite diário de concentração de PM10 e a concentração média anual

A tabela F.1 e F.2 apresentam o número de excedências anuais ao valor-limite diário de concentração de PM10 e a concentração média anual, para as estações da aglomeração de Braga, nos anos de 2005 a 2008, com e sem desconto dos eventos naturais. A identificação e avaliação de eventos naturais para o ano de 2005 foi efectuada por Borrego *et al.* (2008), para as estações que apresentaram um nº de excedências ao valor-limite diário de concentração de PM10 superior a 35 vezes no ano. Como a estação de Horto não se encontrava nesta situação, a avaliação das excedências devidas a causas naturais não foi efectuada para esta estação.

Relativamente aos anos de 2006, 2007 e 2008, a identificação e avaliação de eventos naturais em Portugal foi efectuada por Ferreira *et al.* (2007; 2008; 2009).

Tabela F.1: N.º total de ultrapassagens expressas em relação ao VL diário de PM10, com e sem desconto dos eventos naturais.

	Circular Sul		Horto	
	Nº dias excedências	Nº dias excedências após desconto	Nº dias excedências	Nº dias excedências após desconto
2005	97	87	27	Ind.
2006	97	79	27	18
2007	110	93	48	42
2008	22	19	26	20

Ind. - Informação não disponível.

Tabela F.2: Concentração média anual de PM10 para a estações da aglomeração de Braga, com e sem desconto dos eventos naturais.

	Circular Sul		Horto	
	Média anual ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Média anual após desconto ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Média anual ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Média anual após desconto ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
2005	48	Ind.	27	Ind.
2006	47	44	28	27
2007	52	50	29	28
2008	30	29	25	23

Ind. - Informação não disponível.

Referências

Borrego, C., Miranda, A.I., Carvalho, A., Sá, E., Martins, H., Sousa, S. (2008). *Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar na Região Norte - uma visão para o período 2001-2006*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-07/2008, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2007). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2006*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2008). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2007*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Ferreira, F., Marques, F., Monjardino, J. (2009). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2008*, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Anexo G - Emissões de PM10 na Região Norte

De acordo com o inventário de emissões da Região Norte (Borrego *et al.*, 2009), a aglomeração de Braga é uma das que mais contribuem para a emissão total de PM10, juntamente com as aglomerações de Porto litoral, Vale do Ave e a zona urbana e industrial de Guimarães figura G.1 e G.2. O tipo de ocupação do solo, predominantemente urbano e com grande incidência de zonas industriais, aliado ao consequente peso do sector dos transportes rodoviários, poderá explicar a distribuição espacial deste poluente (Borrego *et al.* 2009).

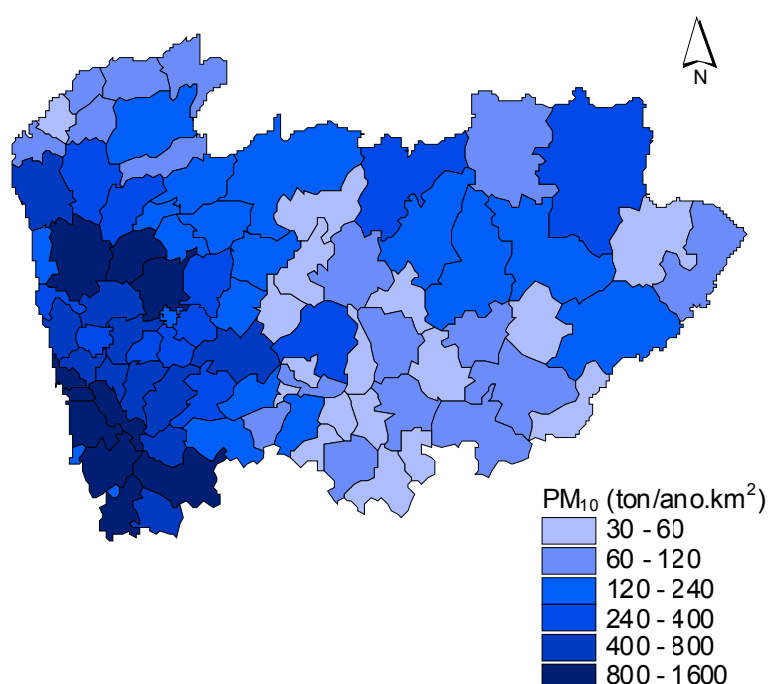


Figura G.1: Distribuição espacial das emissões totais de PM10 (ton.ano-1.km-2) (Borrego *et al.* 2009).

Da análise das figuras G.2a e G.2b é notório que a área de abrangência de aglomeração de Braga é particularmente afectada pelas actividades antropogénicas, das quais se destacam a combustão residencial e comercial, a combustão industrial, os processos de produção e os transportes rodoviários.

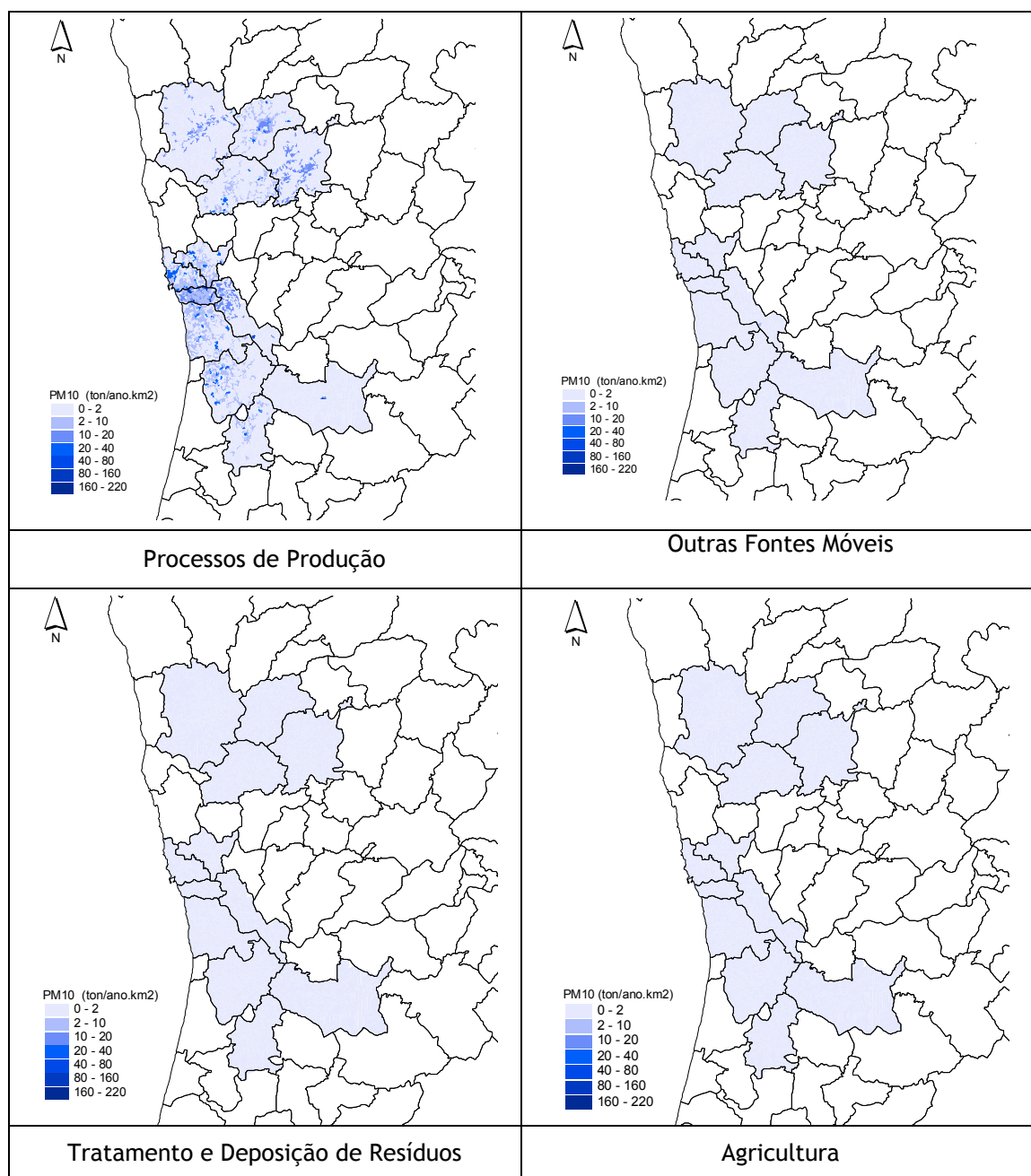


Figura G.2a: Mapas representativos das emissões de PM10 na Região Norte por sector de actividade, discretizadas com base em dados de Uso do Solo (Borrego *et al.* 2009)

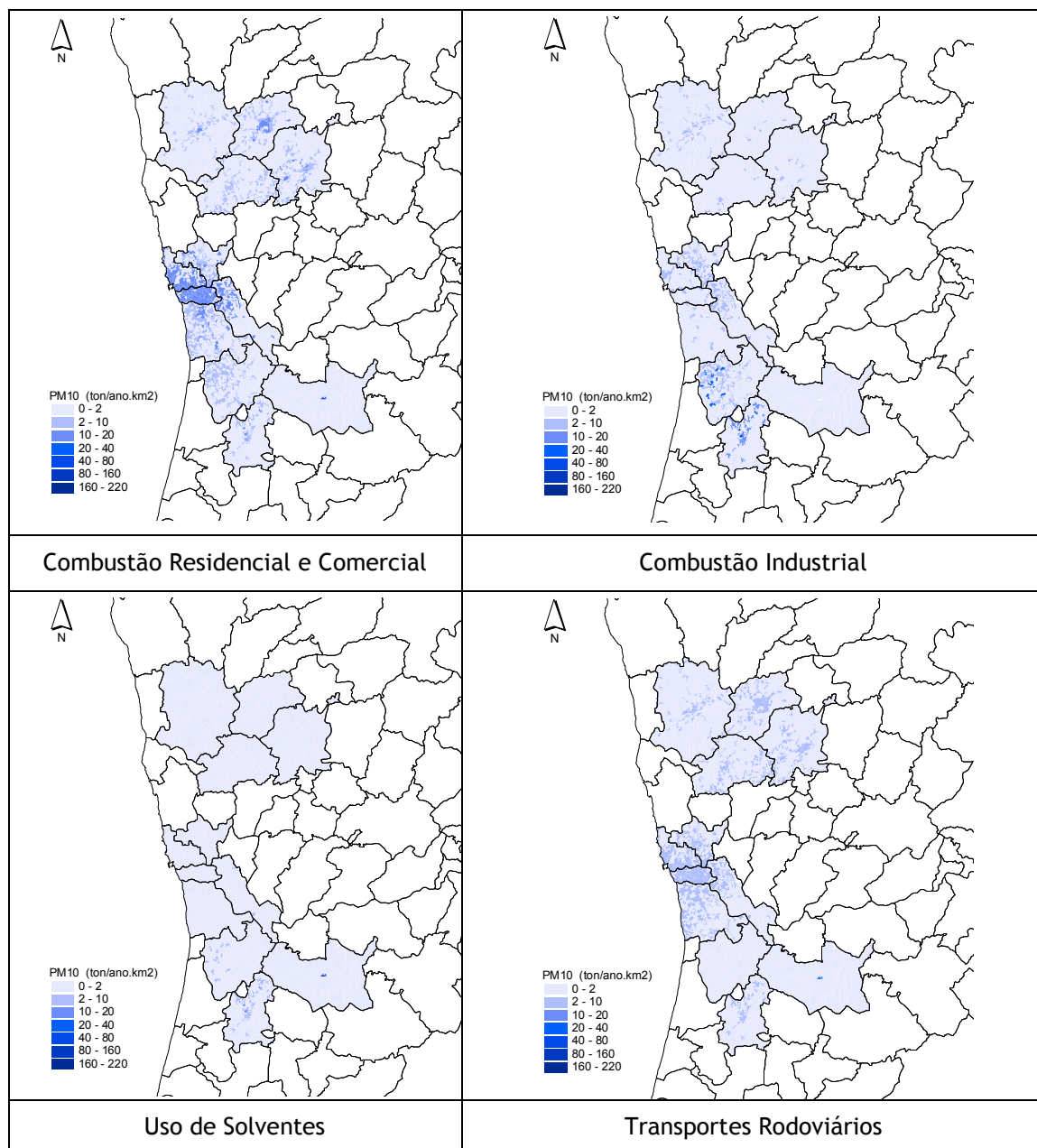


Figura G.2b: Mapas representativos das emissões de PM10 na Região Norte por sector de actividade, discretizadas com base em dados de Uso do Solo (Borrego *et al.*, 2009)

G.1. Emissões do tráfego rodoviário

Uma das maiores fontes de poluição atmosférica, responsável por uma parte significativa das emissões antropogénicas, é o tráfego rodoviário, nomeadamente em áreas urbanas onde esta situação é mais gravosa pelo facto de um maior número de pessoas estarem expostas aos poluentes emitidos.

De acordo com Borrego *et al.* (2009) a distribuição espacial do tráfego rodoviário e das emissões anuais de PM₁₀ associadas, para a rede viária nacional da Região Norte, está representada nas figuras G.3 e G.4, que evidenciam uma taxa de emissão deste poluente mais elevada na zona litoral, que coincide com as vias com maior volume de tráfego automóvel.

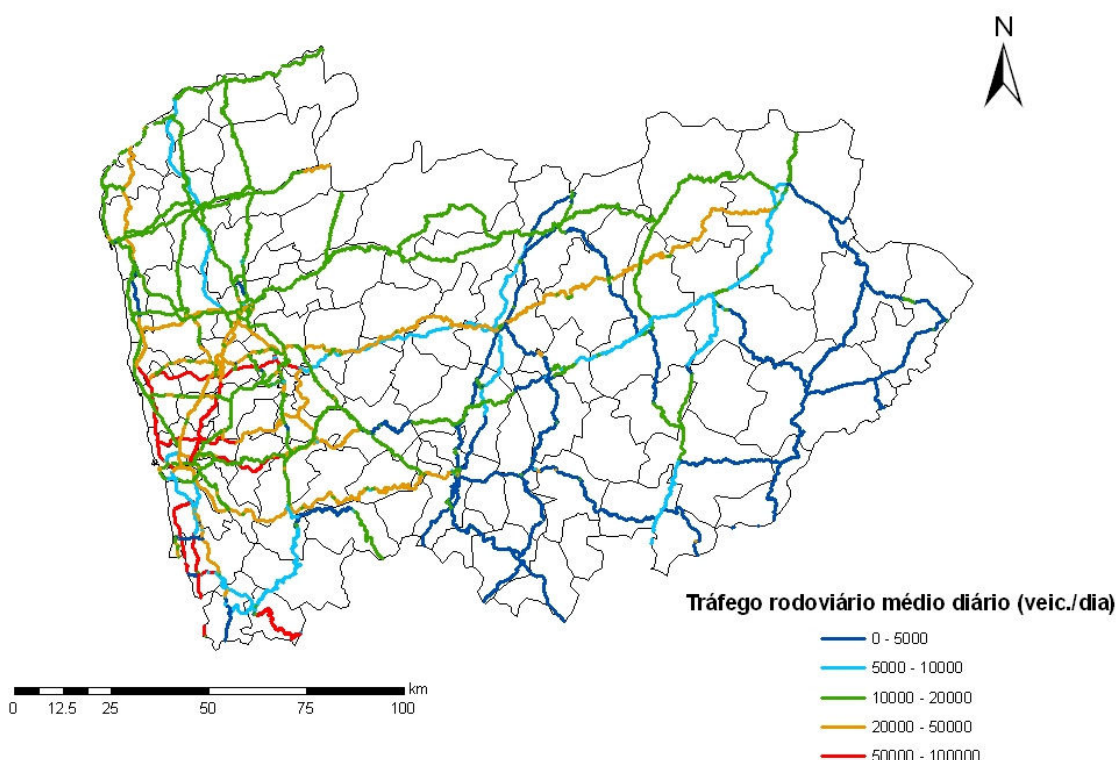


Figura G.3: Distribuição espacial do tráfego rodoviário médio diário, observado nas principais vias, na área de abrangência da CCDR-N, em 2008 (Borrego *et al.*, 2009)

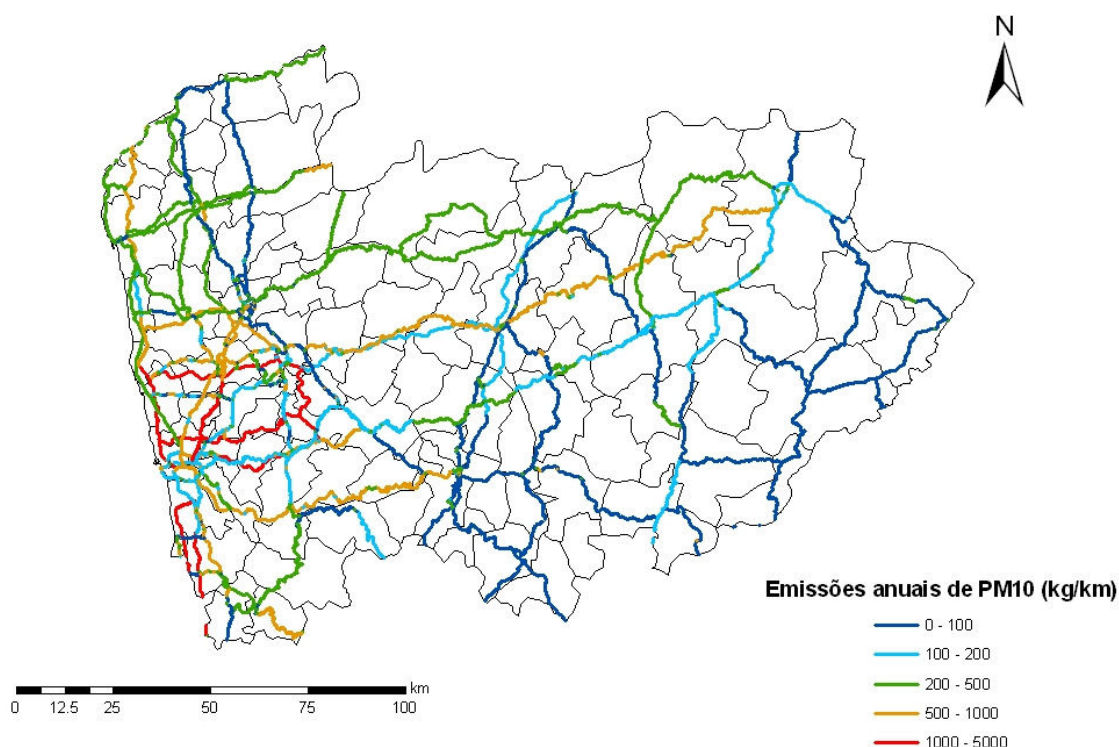


Figura G.4: Distribuição espacial das emissões de PM10, em kg.km^{-1} , na área de abrangência da CCDR-N, calculadas através do modelo TREM (Borrego *et al.*, 2009)

A figura G.5 representa, para a rede viária nacional da Região Norte, o tráfego médio diário típico, discriminado por tipo de via, por dia (útil ou fim de semana) e por período (Verão e Inverno, baseados respectivamente em dados dos meses de Janeiro e Fevereiro, Julho e Agosto).

Verifica-se que, para todos os períodos, se observam dois picos de tráfego típicos, ao início da manhã e ao final da tarde. Esses picos são mais acentuados nos dias úteis, independentemente do período do ano (Verão ou Inverno), notando-se um decréscimo acentuado no volume de tráfego aos fins-de-semana.

Comparando os perfis de Inverno e Verão para dias homólogos, conclui-se que, no caso das auto-estradas, o número de veículos em circulação é maior no Verão. Os Itinerários principais e complementares, bem como as estradas nacionais, não apresentam diferenças significativas entre os períodos homólogos de Inverno e Verão.

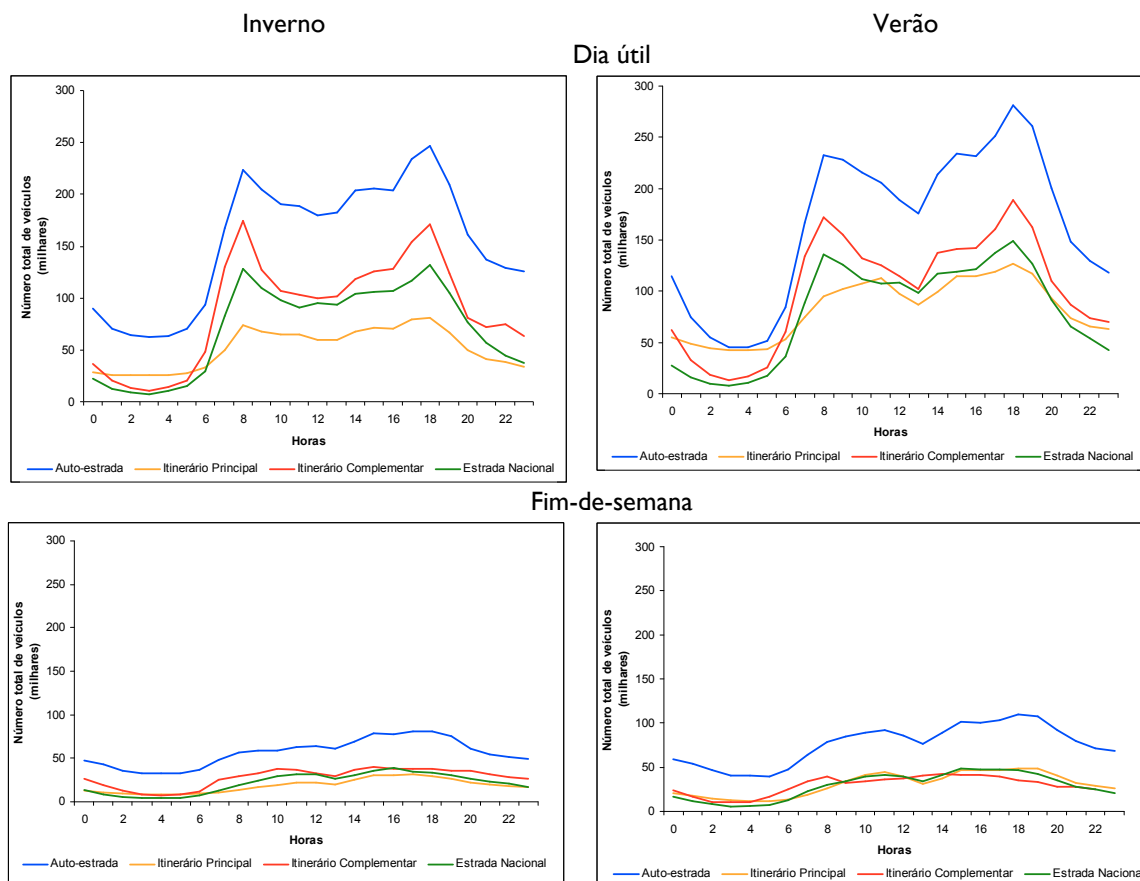


Figura G.5: Perfis médios diários registados nas principais vias existentes na área de abrangência da CCDR-N, para dia útil e fim-de-semana, em períodos de Inverno e de Verão (Borrego *et al.*, 2009).

Esta variação temporal do tráfego rodoviário repercute-se nas emissões de PM₁₀ a ele associado, como se constata na tabela G.1, sendo as emissões totais diárias nos Verão superiores às estimadas para o período de Inverno e as emissões em dias úteis superiores às que ocorrem aos dias de fim-de-semana.

Tabela G.1: Variação sazonal das emissões diárias, para cada poluente, na rede nacional, na área de abrangência da CCDR-N (Borrego *et al.*, 2009).

		Poluentes (ton.dia ⁻¹)					
		CO	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	COV
Inverno	Dia Útil	123	11512	64	4	2	20
	Fim-de-semana	108	8981	48	3	2	16
Verão	Dia Útil	123	12861	71	5	3	20
	Fim-de-semana	109	10275	55	3	2	16

Relativamente às emissões de PM10 por categoria de veículo, contrariamente aos restantes poluentes, e como se pode verificar na figura G.6, estas estão predominantemente associadas à queima de combustível em veículos a diesel. As categorias que mais contribuem para as emissões deste poluente são as de veículos ligeiros de passageiros a diesel, ligeiros de mercadorias e os veículos pesados, devido ao combustível e tecnologia utilizados.

De notar que, apesar dos veículos pesados representarem apenas cerca de 2% do número total de veículos na Região Norte (figura G.7), as emissões de PM10 desta fonte representam entre cerca de um terço das emissões totais do tráfego rodoviário (figura G.6). Para a elevada emissão desta fonte contribui o facto de mais de 80% da dos veículos pesados de mercadorias serem de categoria EURO II ou inferior (figura G.2).

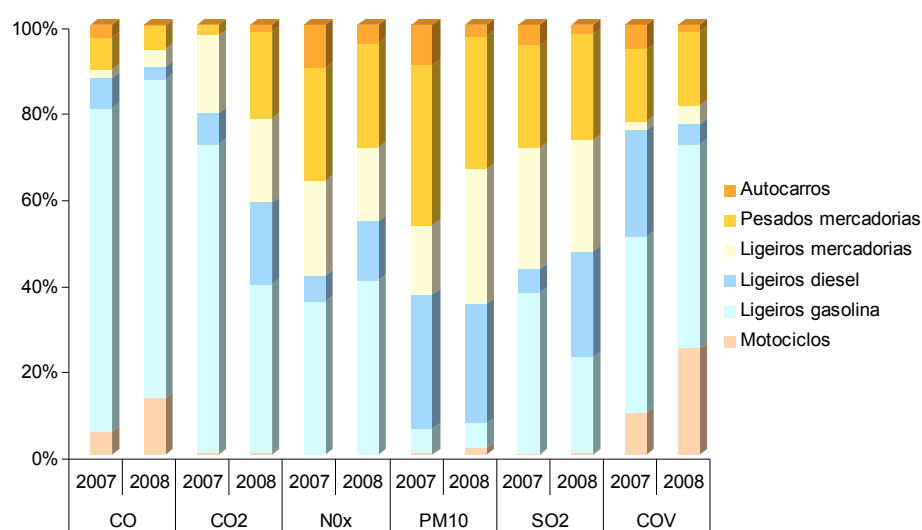


Figura G.6: Distribuição das emissões totais por categoria de veículos, para cada poluente, na área de abrangência da CCDR-N (Borrego *et al.*, 2009).

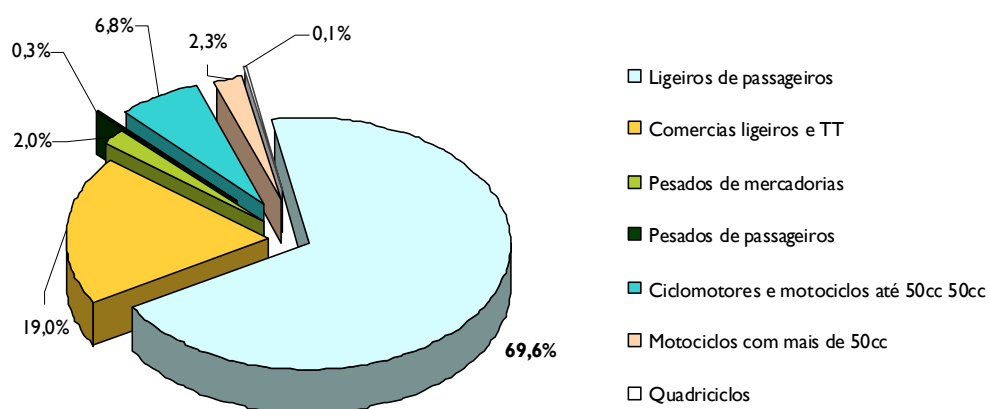


Figura G.7: Composição do Parque Automóvel para a área abrangida pela CCDR-N, em 2008 (Borrego *et al.*, 2009).

**Tabela G.2: Distribuição percentual por classes, para veículos pesados de mercadoria
(Borrego et al., 2009).**

Classe	%
Convencional	33,4
EURO 1	22,2
EURO 2	25,7
EURO 3	10,7
EURO 4	8,0
EURO 5	0

Referências

Borrego, C., Miranda, A.I., Ferreira, J., Tchepel, O., Monteiro, A., Dias, D., Ribeiro, I., Tavares, R., Barbedo, P. (2009b): *Melhoria do Actual Inventário de Poluentes Atmosféricos da Região Norte - relatório final*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-09/2009, Portugal.

Anexo H - Análise de custos e benefícios ambientais de políticas e medidas

A estimativa das emissões, tanto para o cenário base como para o cenário de redução, foi efectuada para o ano de 2008, com base em informações estatísticas fundamentadas em bibliografia, no Inventário de Emissões da Região Norte (Borrego *et al.*, 2009) e informação fornecida pelas Câmaras Municipais.

Os factores de emissão utilizados no cálculo das emissões de PM10 foram ponderados tendo em conta condições como a distribuição das tipologias de veículos em Portugal, idade média dos veículos, distâncias percorridas e velocidades praticadas nos diferentes tipos de ambiente (urbano, rural e auto-estrada).

H.1. Redução das emissões da combustão residencial

Com base em Borrego *et al.* (2009, 2010) assumiu-se que as emissões de PM10 pela combustão residencial representam 30% das emissões do concelho de Braga e 25% do concelho de Vila Verde.

Tendo em consideração que as lareiras certificadas poderão ter associadas reduções nas emissões de PM10 de cerca de 90% (URL 1) e assumindo que as lareiras convencionais são substituídas por equipamento certificados, o impacto desta medida traduz-se numa redução de 70% das emissões de PM10, relativamente à categoria SNAP 2, o que corresponde a uma redução de 27% nas emissões totais do concelho de Braga e de 21% do concelho de Vila Verde.

H.1.1 Custos associados

Com base em Borrego *et al.* (2010) assumiu-se a existência de 12500 aparelhos de combustão doméstica a lenha no concelho de Braga e 7500 no concelho de Vila Verde. Atribuiu-se um custo de 1500€ à aquisição e instalação de um equipamento de combustão certificado (adaptado de URL 2).

Não foram incluídos os custos de preparação e implementação de normas e regulamentos, pois serão pouco relevantes comparativamente aos custos de aquisição e implementação dos equipamentos certificados.

Tabela H.1: Custos estimados decorrentes da implementação da medida relativa à redução das emissões da combustão residencial.

	N.º equipamentos	Preço/ equipamento (€)	Custo (k€)
Braga	12500	1500	18750
Vila Verde	7500		11250
Custo total (€)			30000

H.2. Definição de Novos VLE de Partículas para indústria; Substituição de despoeiradores em fontes industriais e Reforço da fiscalização de fontes pontuais

As Portarias n.º 675/2009 e 677/2009, de 23 de Junho, vieram estabelecer um VLE para partículas mais reduzido, tendo passado de 300 mg.m^{-3} para 150 mg.m^{-3} , sendo a primeira Portaria de aplicação geral e a segunda aplicável a instalações de combustão. Está ainda prevista a publicação portarias que definam novos VLE de aplicação sectorial.

O reforço da fiscalização das fontes pontuais, como por exemplo no âmbito do protocolo celebrado entre a CCDR-N e a GNR - Serviço Especial de Protecção da Natureza e do Ambiente (SEPNA), terá sempre um papel preponderante no cumprimento das obrigações legais nesta matéria, levando a que, num cenário óptimo, todas as instalações realizem o autocontrolo das emissões atmosféricas e, caso necessário, tomem medidas para o cumprimento dos VLE impostos.

A obrigação de cumprimento destes VLE mais restritivos levará a que, em algumas empresas, haja a necessidade de instalação de sistemas de despoeiramento ou substituição dos existentes por outros mais eficientes.

Estas medidas são, consequentemente, complementares, visando a redução das emissões de um conjunto de fontes cuja contribuição para as emissões de PM10 na aglomeração de Braga é significativa.

A determinação das vantagens ambientais desta medida baseou-se nos dados de autocontrolo de emissões atmosféricas da CCDR-N, relativos ao concelho de Braga e Vila Verde, estimando-se qual a percentagem de redução das emissões resultante do cumprimento do VLE de 150 mg.m^{-3} .

Assim, determinou-se uma redução de 21% nas emissões associadas às categorias SNAP 3 e 4, o que se traduz numa redução de cerca de 10% nas emissões totais dos dois concelhos.

H.3. Medidas de tráfego

H.3.1. Renovação da frota de pesados de passageiros

Para o cálculo da redução das emissões de PM10 decorrentes da aplicação desta medida foi feita a separação entre os veículos pertencentes à empresa municipal de transporte urbanos de Braga (TUB-EM) e os restantes veículos pesados de passageiros.

Para esta medida foi assumida a substituição dos veículos que não cumpriam qualquer norma EURO por veículos novos.

As tabelas seguintes apresentam as emissões de PM10 associadas aos veículos pesados de passageiros e as reduções associadas à aplicação desta medida.

Tabela H.2: Dados relativos à frota de veículos pesados de passageiros da TUB-EM e emissões de PM10 associadas, para o cenário base (fontes: TUB-EM*, adaptado de URL 3#).

Nº veículos	Peso Bruto (kg)	Combustível*	Distância percorrida*	Norma*	FE#(g/km)	Emissões - CB (t)
19	16.000	B50	40256	Pré-EURO	1,12	0,771
16	26.000	B50	24217	Pré-EURO	1,37	0,479
45	18.000	B50	48895	EURO I	0,57	1,148
4	18.000	B50	56120	EURO II	0,26	0,053
16	19.000	GNC	56928	EURO III	0,03	0,026
5	12.000	B20	57199	EURO III	0,09	0,026
10	12.000	B20	60305	EURO IV	0,04	0,027
Emissão total						2,53

B50 - 50% de gasóleo + 50% biodiesel

B20 - 80% gasóleo + 20% biodiesel

GNC - Gás natural comprimido

Tabela H.3: Dados relativos à frota de veículos pesados de passageiros da TUB-EM e emissões de PM10 associadas, para o cenário de redução (fonte: adaptado de URL 3#).

Nº veículos	Peso Bruto (kg)	Combustível	kms (2009)	Norma	FE* (g/km)	Emissões - CR (t)
45	18.000	B50	40651	EURO I	0,57	1,148
4	18.000	B50	59012	EURO II	0,26	0,053
16	19.000	GNC	56928	EURO III	0,03	0,026
5	12.000	B20	65286	EURO III	0,09	0,026
10	12.000	B20	48591	EURO IV	0,04	0,027
19	16.000	B20	40256	EURO V	0,06	0,045
16	26.000	B20	24217	EURO V	0,07	0,026
Emissão total						1,35

Tabela H.4: Distribuição por classes e factores de emissão aplicáveis aos veículos pesados de passageiros, à excepção dos pertencentes à TUB-EM (fontes: adaptado de Borrego *et al.*, 2009*; adaptado de URL 3#).

Antes da aplicação das medidas					Após aplicação das medidas			
Classe	Distribuição por classe* (%)	FE# (g/km)			Distribuição por classe (%)	FE# (g/km)		
		Urbano	Rural	Auto-estrada		Urbano	Rural	Auto-estrada
Conven- cional	33,2	0,53	0,37	0,33	0	0,53	0,37	0,33
EURO I	18,0	0,40	0,27	0,24	18	0,40	0,27	0,24
EURO II	26,0	0,18	0,14	0,13	26	0,18	0,14	0,13
EURO III	13,7	0,19	0,13	0,11	13,7	0,19	0,13	0,11
EURO IV	9,1	0,04	0,02	0,02	9,1	0,04	0,02	0,02
EURO V	0,0	0,04	0,02	0,02	33,2	0,04	0,02	0,02
	FE ponderado	0,32	0,23	0,20	FE ponderado	0,16	0,11	0,10

Tabela H.5: Dados relativos à frota de veículos pesados de passageiros (à excepção dos pertencentes à TUB-EM) e emissões de PM10 associadas, para o cenário base e de redução (fontes: adaptado de URL 4*, IA, 2004[#]).

Concelho	Nº veículos *	Distâncias percorridas [#] (km)			Emissão total anual (t)	
		Auto-estrada	Rural	Urbano	CB	CR
Braga	148	6900	20700	18400	1,79	0,89
Vila Verde	14	6900	20700	18400	0,17	0,08

H.3.1.1 Custos associados

Tabela H.6: Custo estimados de renovação da frota de veículos pesados de passageiros, à excepção dos pertencentes à TUB-EM (fontes: adaptado de Borrego *et al.*, 2008^{*}).

Veículos pesados de passageiros excepto TUB			
Concelho	N.º veículos novos	Preço/veículo* (€)	Custo (k€)
Braga	49	200000	9800
Vila Verde	5		1000
Custo total (€)			10800

Tabela H.7: Custo estimados de renovação da frota pertencente à TUB-EM (fontes: adaptado de Borrego *et al.*, 2008^{*}).

Veículos pesados de passageiros - frota TUB			
	N.º veículos novos	Preço/Veículo* (€)	Custo (k€)
Braga	35	200000	7000

H.3.2 Renovação da frota de RSU

Os dados relativos à frota de veículos de recolha de resíduos sólidos urbanos foram fornecidos pela Câmara Municipal de Braga e os factores de emissão utilizados foram adaptados de URL 3.

Para esta medida foi assumida a instalação de filtros de partículas nos veículos que não cumprissem, pelo menos, a norma Euro III.

Tabela H.8: Dados relativos à frota de veículos de recolha de resíduos sólidos urbanos e emissões de PM10 associadas, para o cenário de base e de redução (fontes: Câmara Municipal de Braga*; adaptado de URL 3[#]).

Matricula	km percorridos*	Norma*	Filtro Partículas*	FE# (g/km)	Emissões - CB (kg/ano)	Emissões - CR (kg/ano)
08-25-GB	7184	EURO 1	Não	0,27	1,94	0,19
08-26-GB	28290	EURO 1	Não	0,27	7,62	0,76
10-91-IM	23804	EURO 2	Não	0,13	3,02	0,30
17-54-DG	3974	EURO 1	Não	0,27	1,07	0,11
83-01-AF	8542	Convencional	Não	0,47	3,98	0,40
19-99-NV	22284	EURO 2	Não	0,13	2,83	0,28
20-02-NV	39194	EURO 2	Não	0,13	4,97	0,50
24-94-IJ	24076	EURO 2	Não	0,13	3,05	0,31
82-13-OF	30288	EURO 2	Não	0,13	3,84	0,38
17-52-VZ	38500	EURO 3	Não	0,12	4,49	4,49
17-67-VZ	31821	EURO 3	Não	0,12	3,71	3,71
69-BN-74	24323	EURO 4	Não	0,02	0,51	0,51
53-CE-12	28011	EURO 4	Não	0,02	0,59	0,59
53-CE-15	27916	EURO 4	Não	0,02	0,59	0,59
53-CE-19	23705	EURO 4	Não	0,02	0,50	0,50
66-16-XE	38398	EURO 4	Não	0,02	0,81	0,81
96-HV-29	11234	EURO 5	Não	0,02	0,24	0,24
10-HT-16	12197	EURO 5	Não	0,02	0,26	0,26
10-HT-15	17668	EURO 5	Não	0,02	0,38	0,38
Emissão total					44,4	15,3

H.3.2.1 Custos associados

Tabela H.9: Custo estimado da instalação de filtros de partículas nos veículos RSU (fontes: adaptado de Schrooten *et al.*, 2006*).

Filtros partículas nos veículos RSU <Euro III			
	N.º veículos novos	Preço/Veículo* (€)	Custo (k€)
Braga	9	11000	99

H.3.3. Introdução de filtros de partículas em pesados de mercadorias

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2008, de 1 de Julho pretendeu promover a renovação das frotas dos transportes rodoviários de mercadorias por conta de outrem.

Neste sentido, considerou-se a substituição de veículos afectos ao transporte de mercadorias por conta de outrem que não cumprem qualquer norma EURO por veículos novos e a instalação de filtros de partículas nos que cumprem as normas Euro I e II.

Na tabela H.6 apresenta-se o número de veículos pesados de mercadorias por concelho. Foi assumido, com base em URL 4, que a frota de pesados de mercadorias por conta de outrem representa 45% do total destes veículos.

Tabela H.10: Número de veículos pesados de mercadorias, por tipo de frota, tonelagem e concelho (adaptado de URL 4).

		Rígidos >20t	Rígidos ≤20t	Articulados
Braga	Por conta de outrem	113	430	299
	Por conta própria	164	621	432
Vila Verde	Por conta de outrem	43	95	67
	Por conta própria	62	137	96

Tabela H.11: Distribuição dos veículos pesados de mercadorias por classe, para o cenário base e de redução (adaptado de Borrego *et al*, 2009).

Classe	Distribuição por classe (%)	
	CB	CR
Convencional	0,0	33,4
EURO 1	22,2	22,2
EURO 2	25,7	25,7
EURO 3	10,7	10,7
EURO 4	8,0	8,0
EURO 5	33,4	0,0

Tabela H.12: Emissões de PM10 associadas aos pesados de mercadorias afectos à frota por conta de outrem e emissões de PM10 associadas, para o cenário base e de redução (adaptado de IA, 2004^{*}; adaptado de URL 3[#]).

Concelho	Via	Distâncias percorridas* (km)	FE ponderado [#] (kg/km)	
			CB	CR
Braga	Urbana	11433	0,27	0,03
	Rural	40016	0,25	0,03
	Auto-estrada	5717	0,27	0,03
	Emissão total anual (t)		12,25	1,40
Vila Verde	Urbano	13339	0,28	0,03
	Rural	10480	0,25	0,03
	Auto-estrada	7622	0,28	0,03
	Emissão total anual (t)		3,02	0,35

H.3.3.1 Custos associados

Tabela H.13: Custo estimado da instalação de filtros de partículas em veículos pesados de mercadorias por novos (fontes: adaptado de Schrooten *et al.*, 2006*).

Instalação de FP nos veículos pesados Mercadorias Euro I e II			
Concelho	N.º veículos novos	€/veículo* (€)	Custo (k€)
Braga	403	11000	4433
Vila Verde	98		1078
Custo total (€)			5511

Tabela H.14: Custo estimado da substituição dos veículos pesados de mercadorias por novos (fontes: adaptado de Borrego *et al.*, 2008*).

Substituição de veículos pesados Mercadorias pré-Euro por novos			
Concelho	N.º veículos novos	€/veículo* (€)	Custo (k€)
Braga	281	60000	16860
Vila Verde	68		4080
Custo total (€)			20940

H.3.4 Melhorias na rede de transportes colectivos

Nesta medida foram incluídos custos com acções e material de sensibilização, bem como de estudos para melhoria na rede de transportes públicos. A estimativa de custos foi baseada em Borrego *et al.* (2008), em orçamentos e na informação existente na CCDR-N, relativa aos custos de medidas similares.

Não foram incluídos custos com eventuais infra-estruturas necessárias, incentivos financeiros a atribuir ou promoções/ofertas nos transportes públicos.

Tabela H.15: Custo estimado implementação da medida de melhoria da rede de transportes colectivos.

	Quantidade	Preço unitário (€)	Custo total (€)
N.º sondagens	1000	1	1000
Desdobráveis	4000	0,15	600
Acções sensibilização	-	-	1500
Estudos	-	-	40000
Custo total			43100

H.3.5 Proibição parcial da circulação de veículos pesados de mercadorias

Para esta medida foi atribuído um custo de 45.000 Euros, referente a despesas com estudos para regulamentar e sinalizar zonas/horas de cargas e descargas no centro da cidade de Braga. A estimativa foi baseada em Borrego *et al.* (2008).

Não foram incluídos custos com a eventual construção de uma central periférica de recepção de mercadorias

H.3.6 Emissões totais de PM10 associadas ao tráfego rodoviário

Nas tabelas seguintes apresentam-se as emissões associadas aos veículos não abrangidos pelas medidas propostas para o cenário de redução, nomeadamente ligeiros, veículos de duas rodas e restantes pesados (veículos de mercadorias afectos à frota por conta própria e “outros pesados” - veículos pesados de combate a incêndios e ambulâncias), possibilitando o cálculo das emissões totais do transporte rodoviário para os concelhos de Braga e Vila Verde.

Apresenta-se ainda, na tabela H.9, as emissões totais de PM10 associadas ao tráfego rodoviário e reduções associadas à aplicação das medidas propostas, discriminadas por tipo de veículo.

Tabela H.16: Factores de emissão de PM10 e distancias anuais percorridas, para “outros pesados”, ligeiros e veículos de 2 rodas (fontes: adaptado de IA, 2004*; adaptado de URL 3[#]).

	Distâncias percorridas* (km)			FE ponderado [#] (kg/km)		
	Auto-estrada	Rural	Urbana	Auto-estrada	Rural	Urbana
Outros pesados	5717	40016	11433	0,284	0,261	0,287
Ligeiros	1987	5961	5299	0,057	0,037	0,036
2 Rodas	1287	4075	5362	0,038	0,038	0,038

Tabela H.17: Dados da frota de “outros pesados”, ligeiros e veículos de 2 rodas, e emissões de PM10 associadas (fontes: adaptado de URL 4^{*}).

Concelho	Tipo veículo	N.º veículos*	Emissão (t)
Braga	Outros pesados	22	0,34
	Ligeiros	94223	49,38
	2 rodas	3950	1,61
	Emissão total anual (t)		51,33
V. Verde	Outros pesados	10	0,15
	Ligeiros	24198	12,68
	2 rodas	2281	0,93
	Emissão total anual (t)		13,76

Tabela H.18: Emissões de PM10 associadas aos pesados de mercadorias afectos à frota por conta própria e emissões de PM10 associadas, para o cenário base (fontes: adaptado de IA, 2004^{*}; adaptado de URL 3[#]).

Concelho	Via	Distâncias percorridas [*] (km)	FE ponderado [#] (kg/km)
Braga	Urbana	11433	0,27
	Rural	40016	0,25
	Auto-estrada	5717	0,27
	Emissão total anual (t)		14,97
Vila Verde	Urbana	13339	0,28
	Rural	10480	0,25
	Auto-estrada	7622	0,28
	Emissão total anual (t)		3,69

Tabela H.19: Emissões de PM10 associadas ao tráfego rodoviário, para os concelhos de Braga e Vila Verde, no cenário base e de redução.

Concelho	Categoria	Emissão (t)		% Redução face ao total do concelho
		CB	CR	
Braga	Pesados Mercadorias por Conta de outrem	12,25	1,40	13,09
	Pesados mercadorias por conta própria	14,97	14,97	0,00
	RSU	0,04	0,02	0,04
	Outros pesados	0,34	0,34	0,00
	Ligeiros	49,38	49,38	0,00
	Autocarros	1,79	0,89	1,09
	Autocarros TUB	2,53	1,35	1,42
	2 Rodas	1,61	1,61	0,00
	Total	82,91	69,94	15,63
Vila Verde	Pesados Mercadorias por Conta de outrem	3,02	0,35	12,94
	Pesados mercadorias por conta própria	3,69	3,69	0,00
	Outros pesados	0,15	0,15	0,00
	Ligeiros	12,68	12,68	0,00
	Autocarros	0,17	0,08	0,41
	2 Rodas	0,93	0,93	0,00
	Total	20,64	17,89	13,35

H.4 Lavagem das ruas

Para esta medida foi estimado um custo de 220.000 Euros, que inclui a aquisição e operação de uma lavadora e uma varredoura (adaptado de Borrego *et al.*, 2008).

H.5 Redução das poeiras de obras de construção civil

Para esta medida foi estimado um custo de 8500 Euros, correspondente à impressão de 1000 exemplares do Manual de Boas Práticas em Obra, elaborado pela CCDR-N, a distribuir pelas empresa de construção civil a laborar nos concelhos de Braga e Vila Verde.

H.6 Sensibilização Ambiental

Nesta medida foram incluídos custos com acções e material de sensibilização, com base em Borrego *et al.* (2008), em orçamentos e na informação existente na CCDR-N, relativa aos custos de medidas similares.

Tabela H.20: Custo estimado de implementação da medida de sensibilização ambiental.

	Quantidade	Preço unitário (€)	Custo total (€)
Folhetos	2000	0,15	300
Brochuras	500	6	3500
Outdoors	100	20	2000
Acções sensibilização	-	-	3000
Site específico	-	-	1500
Seminários	-	-	5000
Custo total (€)			15300

Referências

Borrego, C., Miranda, A.I., Ferreira, J., Tchepel, O., Monteiro, A., Dias, D., Ribeiro, I., Tavares, R., Barbedo, P. (2009): *Melhoria do Actual Inventário de Poluentes Atmosféricos da Região Norte - relatório final*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-09/2009, Portugal.

Borrego, C., Miranda, A.I., Carvalho, A., Sá, E., Martins, H., Sousa, S. (2008): *Planos e Programas para a Melhoria da Qualidade do Ar na Região Norte - uma visão para o período 2001-2006*, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, AMB-QA-07/2008, Portugal.

Borrego, C. Valente, J., Carvalho, A., Sá, E., Lopes, M., Miranda, A. I. (2010): *Contribution of residential wood combustion to PM10 levels in Portugal*, Atmospheric Environment, vol.44, pp 642-651.

IA (2004), DCEA-FCT/Universidade Nova de Lisboa e CEEETA, Programa para os Tectos de Emissão Nacional, estudos de base, cenário de referência, Lisboa, Maio 2004.

URL 1: Hearth, Patio and Barbecue association: <http://hpba.org>

URL 2: <http://www.epa.gov/burnwise/>

URL 3: UK Department of transport:

<http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/environment/emissions/>

URL 4: Instituto de Seguros de Portugal: www.isp.pt

URL 5: INE Instituto Nacional de Estatística: <http://www.ine.pt>

Anexo I - Indicadores de qualidade relativos à aplicação do modelo TAPM à região de estudo

Tabela I.2: Valores do parâmetro BIAS para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação da LIPOR.

	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Componente U (m.s ⁻¹)	Componente V (m.s ⁻¹)
Janeiro	3,5	-2,3	0,9	-0,8
Fevereiro	5,3	-2,5	2,0	-1,4
Março	4,0	-1,8	0,6	0,1
Abril	5,0	-1,9	0,7	-0,5
Maio	4,4	-1,3	0,4	-0,2
Junho	3,6	-2,1	0,7	1,1
Julho	3,8	-1,8	0,2	0,9
Agosto	3,3	-1,8	0,4	1,2
Setembro	4,1	-2,0	1,3	0,1
Outubro	3,5	-2,3	2,0	0,4
Novembro	2,9	-2,4	1,6	0,6
Dezembro	3,7	-2,8	2,0	0,0

Tabela I.3: Valores do parâmetro BIAS para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Barcelos.

	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Componente U (m.s ⁻¹)	Componente V (m.s ⁻¹)
Janeiro	0,4	-1,8	0,8	-0,6
Fevereiro	1,3	-1,9	1,6	-0,6
Março	1,0	-1,6	0,1	0,5
Abril	1,8	-1,6	0,6	-0,2
Maio	1,3	-1,4	0,2	-0,1
Junho	0,0	-1,9	0,0	1,7
Julho	0,1	-1,6	-0,1	0,8
Agosto	0,0	-1,8	-0,1	1,3
Setembro	0,5	-1,6	0,6	0,5
Outubro	0,4	-1,8	0,8	1,0
Novembro	0,0	-1,8	0,6	1,0
Dezembro	0,4	-1,9	1,1	0,4

Tabela I.4: Valores do parâmetro BIAS para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Gondizalves.

	Temperatura (°C)	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Componente U (m.s ⁻¹)	Componente V (m.s ⁻¹)
Janeiro	1,0	-2,3	1,3	-1,4
Fevereiro	1,4	-2,5	2,2	-1,3
Março	1,5	-1,7	0,5	-0,3
Abril	2,1	-2,3	0,9	-1,1
Maio	1,6	-2,1	0,2	-0,8
Junho	0,0	-2,4	0,1	0,5
Julho	0,3	-2,2	-0,2	0,0
Agosto	0,3	-2,2	-0,2	0,3
Setembro	0,4	-2,2	1,0	-0,6
Outubro	0,3	-2,1	1,2	-0,2
Novembro	0,0	-1,8	1,1	-0,1
Dezembro	0,9	-2,2	1,7	-0,7

Tabela I.5: Valores do parâmetro SKILLr para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação da LIPOR.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	1,48	1,85	2,20	0,92
Fevereiro	1,85	2,45	2,08	1,54
Março	1,49	1,30	1,63	0,68
Abril	1,21	1,58	1,81	0,65
Maio	1,98	1,23	1,72	0,67
Junho	1,12	1,71	1,88	1,30
Julho	1,18	1,58	2,18	0,99
Agosto	1,49	1,32	1,62	0,94
Setembro	1,33	1,88	2,26	0,85
Outubro	0,98	1,63	2,91	0,85
Novembro	0,94	2,04	2,81	1,06
Dezembro	1,13	2,16	2,17	1,08

Tabela I.6: Valores do parâmetro SKILLr para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Barcelos.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,92	1,96	2,19	1,72
Fevereiro	0,89	3,03	3,22	1,90
Março	0,87	1,70	1,52	1,63
Abril	0,76	2,04	2,10	1,54
Maio	1,03	2,04	1,88	2,01
Junho	0,77	2,88	1,96	3,15
Julho	0,70	2,48	1,86	2,65
Agosto	0,93	2,71	1,86	3,14
Setembro	0,77	2,71	2,44	2,25
Outubro	0,71	2,74	2,54	2,25
Novembro	0,64	2,51	2,26	2,26
Dezembro	0,80	2,22	2,78	1,74

Tabela I.7: Valores do parâmetro SKILLr para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Gondizalves.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,99	3,84	5,16	2,73
Fevereiro	0,86	4,69	6,38	2,49
Março	0,88	2,50	3,49	1,54
Abril	0,73	4,10	4,85	2,48
Maio	0,95	6,53	7,28	4,45
Junho	0,58	10,92	11,51	6,61
Julho	0,56	8,49	9,02	5,12
Agosto	0,76	7,03	7,35	5,12
Setembro	0,65	6,48	8,82	3,57
Outubro	0,63	4,26	6,96	2,43
Novembro	0,57	3,81	6,13	2,33
Dezembro	0,78	3,81	6,00	2,02

Tabela I.8: Valores do parâmetro Fa2 para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação da LIPOR.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	1,00	1,00	1,00	1,00
Fevereiro	0,94	0,94	0,94	0,94
Março	1,00	1,00	0,99	1,00
Abril	1,00	1,00	1,00	1,00
Maio	1,00	1,00	1,00	1,00
Junho	1,00	1,00	1,00	1,00
Julho	1,00	1,00	1,00	1,00
Agosto	1,00	1,00	0,99	1,00
Setembro	1,00	1,00	0,99	1,00
Outubro	1,00	1,00	0,99	1,00
Novembro	0,99	0,99	0,98	0,99
Dezembro	0,98	0,98	0,98	0,98

Tabela I.9: Valores do parâmetro Fa2 para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Barcelos.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	1,00	0,88	0,88	0,88
Fevereiro	1,00	0,89	0,89	0,89
Março	1,00	0,91	0,91	0,91
Abril	1,00	0,93	0,93	0,93
Maio	1,00	0,86	0,86	0,86
Junho	1,00	0,91	0,91	0,91
Julho	1,00	0,90	0,90	0,90
Agosto	1,00	0,92	0,92	0,92
Setembro	1,00	0,90	0,90	0,90
Outubro	1,00	0,92	0,92	0,92
Novembro	1,00	0,96	0,96	0,96
Dezembro	0,91	0,80	0,80	0,80

Tabela I.10: Valores do parâmetro Fa2 para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Gondizalves.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,98	0,79	0,79	0,79
Fevereiro	1,00	0,88	0,88	0,88
Março	1,00	0,89	0,89	0,89
Abril	1,00	0,83	0,83	0,83
Maio	1,00	0,60	0,60	0,60
Junho	1,00	0,64	0,64	0,64
Julho	1,00	0,64	0,64	0,64
Agosto	1,00	0,61	0,61	0,61
Setembro	1,00	0,58	0,58	0,58
Outubro	1,00	0,74	0,74	0,74
Novembro	1,00	0,72	0,72	0,72
Dezembro	1,00	0,86	-0,03	0,86

Tabela I.11: Valores do parâmetro SKILLE para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação da LIPOR.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,79	1,04	2,06	0,82
Fevereiro	0,89	1,35	1,58	1,04
Março	0,72	0,79	1,58	0,68
Abril	0,52	1,03	1,75	0,61
Maio	0,81	0,90	1,69	0,67
Junho	0,65	0,94	1,81	1,05
Julho	0,64	1,00	2,18	0,85
Agosto	0,87	0,70	1,58	0,71
Setembro	0,66	1,21	2,03	0,85
Outubro	0,55	0,90	2,30	0,82
Novembro	0,60	1,07	2,33	1,00
Dezembro	0,63	1,06	1,71	1,07

Tabela I.12: Valores do parâmetro SKILL para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Barcelos.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,91	0,81	1,91	1,58
Fevereiro	0,84	1,36	2,17	1,68
Março	0,82	0,83	1,52	1,56
Abril	0,66	1,04	1,99	1,52
Maio	0,94	1,11	1,86	2,01
Junho	0,77	1,13	1,96	1,95
Julho	0,70	1,18	1,86	2,34
Agosto	0,93	1,14	1,85	2,45
Setembro	0,76	1,21	2,27	2,11
Outubro	0,71	1,06	2,25	1,76
Novembro	0,64	0,84	2,07	1,89
Dezembro	0,80	0,97	2,30	1,69

Tabela I.13: Valores do parâmetro SKILL para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Gondizalves.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,95	1,37	4,09	1,69
Fevereiro	0,79	1,75	3,76	1,44
Março	0,80	1,27	3,38	1,50
Abril	0,61	1,77	4,50	1,89
Maio	0,83	2,65	7,24	3,92
Junho	0,58	4,10	11,51	6,23
Julho	0,55	3,36	9,00	5,12
Agosto	0,76	2,91	7,31	5,04
Setembro	0,65	2,59	7,91	3,20
Outubro	0,63	1,71	5,75	2,41
Novembro	0,57	1,69	4,87	2,33
Dezembro	0,75	1,84	4,37	1,83

Tabela I.14: Valores do parâmetro IOA para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação da LIPOR.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,65	0,57	0,60	0,85
Fevereiro	0,54	0,43	0,56	0,65
Março	0,67	0,67	0,70	0,90
Abril	0,72	0,56	0,65	0,91
Maio	0,59	0,65	0,65	0,90
Junho	0,78	0,58	0,67	0,70
Julho	0,76	0,60	0,60	0,80
Agosto	0,72	0,69	0,71	0,84
Setembro	0,70	0,50	0,51	0,86
Outubro	0,80	0,58	0,44	0,85
Novembro	0,78	0,49	0,45	0,81
Dezembro	0,72	0,50	0,59	0,83

Tabela I.15: Valores do parâmetro IOA para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Barcelos.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,76	0,54	0,56	0,61
Fevereiro	0,79	0,33	0,36	0,52
Março	0,83	0,58	0,69	0,64
Abril	0,88	0,48	0,56	0,67
Maio	0,82	0,49	0,59	0,57
Junho	0,89	0,45	0,63	0,36
Julho	0,91	0,48	0,66	0,43
Agosto	0,85	0,46	0,62	0,37
Setembro	0,88	0,42	0,52	0,51
Outubro	0,88	0,44	0,47	0,54
Novembro	0,89	0,46	0,49	0,54
Dezembro	0,79	0,49	0,41	0,63

Tabela I.16: Valores do parâmetro IOA para a simulação meteorológica do TAPM, determinados para cada um dos meses do ano, para a estação de Gondizalves.

	Temperatura	Velocidade do vento	Componente U	Componente V
Janeiro	0,75	0,33	0,19	0,48
Fevereiro	0,81	0,24	0,15	0,43
Março	0,82	0,45	0,35	0,70
Abril	0,89	0,28	0,21	0,53
Maio	0,83	0,22	0,18	0,34
Junho	0,93	0,16	0,13	0,25
Julho	0,93	0,20	0,14	0,32
Agosto	0,88	0,24	0,18	0,35
Setembro	0,90	0,21	0,12	0,41
Outubro	0,90	0,29	0,12	0,55
Novembro	0,91	0,30	0,15	0,54
Dezembro	0,81	0,30	0,16	0,61

Tabela I.17: Valores do parâmetro BIAS, determinados para cada um dos meses do ano, para as estações usadas para análise estatística da simulação da componente de poluição atmosférica com o TAPM.

BIAS ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)								
	CAL	CIR	ERM	LAC	SMIN	STIR	VNT	HOR
Janeiro	-4.7	4.6	0.5	-9.6	7.4	-7.1	-	0.0
Fevereiro	-2.6	-0.6	1.7	-7.5	-9.9	-	-	0.0
Março	-9.9	-4.6	-8.7	-19.5	-15.9	-	-8.5	-7.6
Abril	-17.4	-10.4	-15.9	-27.6	-24.5	-	-15.8	-18.8
Maio	-20.1	-10.6	-22.0	-29.5	-21.5	-	-22.6	-21.8
Junho	-12.7	-9.0	-6.7	-19.8	-10.3	-	-7.8	-11.7
Julho	-14.7	-9.0	-11.5	-23.3	-13.7	-17.1	-10.6	-16.2
Agosto	-16.6	-13.0	-12.2	-23.5	-14.7	-18.9	-15.0	-16.6
Setembro	-21.5	-15.7	-12.6	-25.8	-17.1	-22.5	-14.3	-17.9
Outubro	-15.1	-7.3	-3.8	-19.4	-9.8	-14.3	-4.2	-7.1
Novembro	-4.8	1.5	-2.8	-17.5	-17.4	-11.8	-5.0	4.2
Dezembro	-5.3	11.5	-0.4	-10.3	-17.7	-3.5	-2.3	12.9

Tabela I.18: Valores do parâmetro SKILLr, determinados para cada um dos meses do ano, para as estações usadas para análise estatística da simulação da componente de poluição atmosférica com o TAPM.

	CAL	CIR	ERM	LAC	SMIN	STIR	VNT	HOR
Janeiro	1,15	1,14	1,16	1,21	1,08	1,31	-	1,18
Fevereiro	1,17	1,08	1,22	1,19	1,34	-	-	1,09
Março	1,57	1,18	1,37	2,09	3,62	-	1,28	1,30
Abril	3,15	1,68	1,99	5,53	5,98	-	1,87	2,12
Maio	2,36	1,56	2,75	4,56	5,39	-	2,64	2,74
Junho	2,19	1,61	1,35	2,81	2,37	-	1,45	1,71
Julho	2,32	1,31	1,57	2,71	2,65	1,50	1,63	1,77
Agosto	2,45	1,51	1,64	2,94	2,98	1,59	1,88	1,82
Setembro	3,39	1,96	2,05	4,43	4,41	1,87	1,99	1,50
Outubro	1,72	1,18	1,17	2,00	1,32	1,27	1,09	1,20
Novembro	1,10	1,08	1,24	2,12	6,57	1,06	1,29	1,12
Dezembro	1,14	1,05	1,13	1,41	4,12	1,07	1,11	1,13

Tabela I.19: Valores do parâmetro Fa2, determinados para cada um dos meses do ano, para as estações usadas para análise estatística da simulação da componente de poluição atmosférica com o TAPM.

	CAL	CIR	ERM	LAC	SMIN	STIR	VNT	HOR
Janeiro	0.57	0.84	0.85	0.82	0.26	0.06	-	0.99
Fevereiro	0.75	0.66	1.00	0.99	0.99	-	-	0.99
Março	0.99	1.00	0.99	0.91	1.00	-	0.86	0.99
Abril	0.73	1.00	0.99	0.97	0.84	-	0.99	0.88
Maio	0.84	0.66	1.00	0.93	0.96	-	0.97	0.94
Junho	0.89	0.98	1.00	0.95	1.00	-	0.99	0.97
Julho	0.80	0.91	0.99	0.95	1.00	0.62	0.99	0.83
Agosto	0.98	0.98	1.00	0.82	1.00	0.66	0.97	0.88
Setembro	1.00	0.41	0.99	0.79	1.00	0.61	0.91	0.83
Outubro	0.87	0.98	1.00	0.83	0.93	0.37	0.98	0.92
Novembro	0.24	0.99	1.00	0.98	0.73	0.36	0.83	0.93
Dezembro	0.42	1.00	1.00	0.80	0.87	0.63	0.97	0.85

Tabela I.20: Valores do parâmetro SKILLE, determinados para cada um dos meses do ano, para as estações usadas para análise estatística da simulação da componente de poluição atmosférica com o TAPM.

	CAL	CIR	ERM	LAC	SMIN	STIR	VNT	HOR
Janeiro	1,15	1,12	1,16	1,15	1,04	1,29	-	1,18
Fevereiro	1,17	1,08	1,22	1,14	1,24	-	-	1,09
Março	1,24	1,13	1,21	1,25	1,86	-	1,12	1,20
Abril	2,02	1,40	1,46	2,15	3,27	-	1,46	1,49
Maio	1,58	1,41	1,80	1,82	3,04	-	1,86	1,78
Junho	1,63	1,42	1,27	1,44	1,53	-	1,36	1,26
Julho	1,69	1,18	1,41	1,40	1,83	1,20	1,50	1,32
Agosto	1,58	1,16	1,36	1,41	1,49	1,16	1,48	1,26
Setembro	1,70	1,38	1,61	1,82	2,46	1,12	1,61	1,19
Outubro	1,28	1,11	1,15	1,26	1,07	1,08	1,07	1,15
Novembro	1,03	1,08	1,23	1,36	3,76	1,03	1,25	1,11
Dezembro	1,06	1,02	1,13	1,25	2,37	1,06	1,11	1,08

Tabela I.21: Valores do parâmetro IOA, determinados para cada um dos meses do ano, para as estações usadas para análise estatística da simulação da componente de poluição atmosférica com o TAPM.

	CAL	CIR	ERM	LAC	SMIN	STIR	VNT	HOR
Janeiro	0.28	0.30	0.19	0.19	0.27	0.02	-	0.17
Fevereiro	0.44	0.56	0.40	0.32	0.24	-	-	0.34
Março	0.49	0.46	0.44	0.38	0.27	-	0.47	0.38
Abril	0.32	0.39	0.35	0.20	0.14	-	0.39	0.31
Maio	0.34	0.40	0.31	0.25	0.17	-	0.36	0.26
Junho	0.28	0.28	0.28	0.31	0.31	-	0.25	0.40
Julho	0.28	0.39	0.24	0.32	0.24	0.37	0.27	0.36
Agosto	0.32	0.44	0.32	0.31	0.30	0.37	0.33	0.38
Setembro	0.30	0.40	0.35	0.26	0.19	0.40	0.34	0.33
Outubro	0.46	0.48	0.45	0.38	0.41	0.40	0.51	0.33
Novembro	0.56	0.33	0.28	0.34	0.15	0.30	0.25	0.27
Dezembro	0.46	0.29	0.32	0.30	0.21	0.22	0.38	0.35

Anexo J - Concentrações médias de PM10 simuladas pelo modelo TAPM para o cenário base

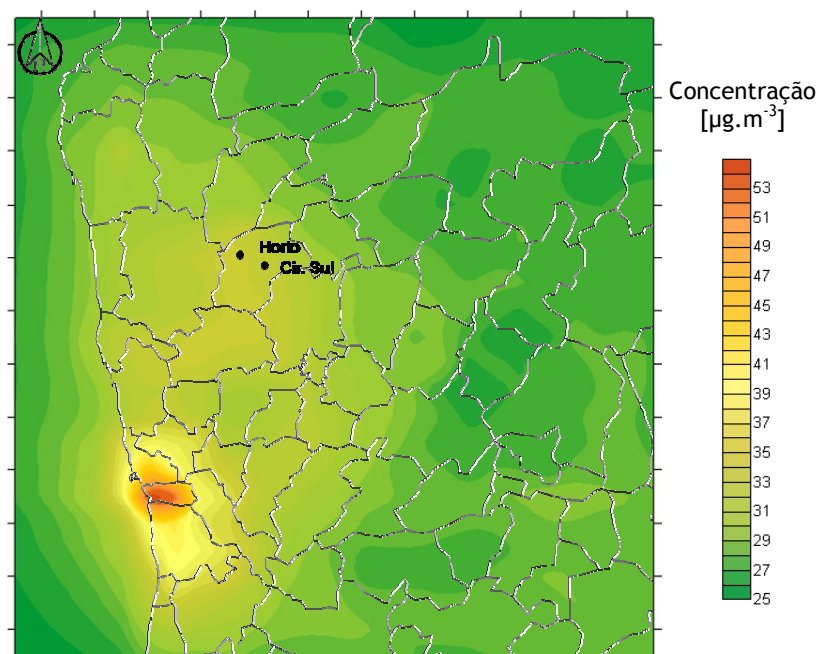


Figura J.1: Campos de concentração média anual de PM10, para o cenário base.

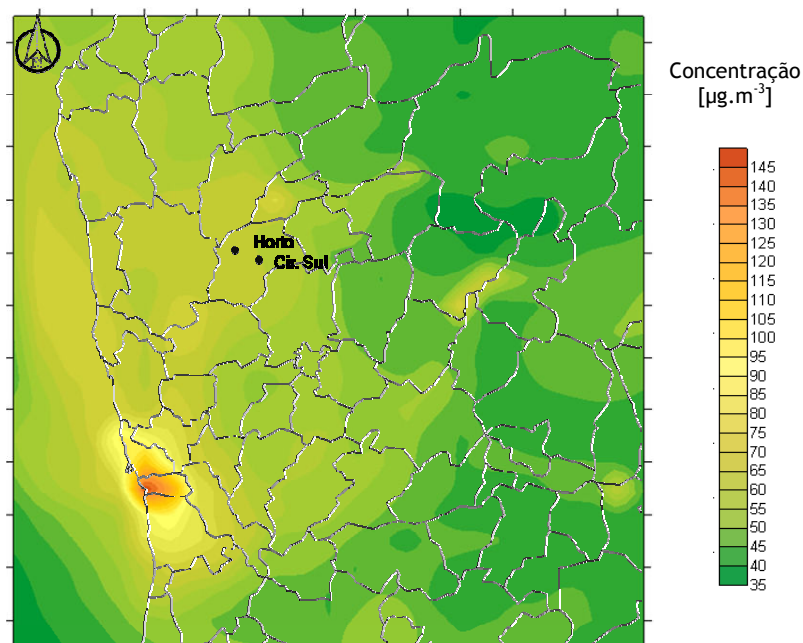


Figura J.2: Campos de concentração máxima horária de PM10, para o cenário base.

Anexo L - Instrumentos de política comunitária e nacionais com eventual impacto nas emissões de partículas

Tabela L.1: Instrumentos de política comunitária e nacionais com eventual impacto nas emissões de partículas (adaptado de Boavista *et al.*, 2004).

Instrumentos de política comunitária	Instrumentos nacionais de política	Datas
Directivas comunitárias	Instrumentos regulamentares	
Directiva n.º 96/61/CE, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição, alterada pela Directiva n.º 2003/35/CE, relativa à participação do público na elaboração de certos planos e programas relativos ao ambiente, codificada pela Directiva n.º 2008/1/CE.	Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26/8; Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21/8.	Em vigor
Directiva n.º 98/69/CE, relativa às medidas a tomar contra a poluição do ar pelas emissões provenientes dos veículos a motor.	Decreto-Lei n.º 202/2000	EURO III - 2000 EURO IV -2005 EURO V -2008
Directivas n.º 97/68/CE e 2001/63/CE, relativa às medidas a tomar contra a emissão de poluentes gasosos e partículas provenientes de motores de combustão interna a instalar em máquinas móveis não rodoviárias.	Decreto-Lei n.º 432/99 e Decreto-Lei n.º 202/2002	Em vigor
Directiva GIC (2001/80/CE), relativa ao controlo das emissões de poluentes atmosféricos das instalações > 50 MW.	Decreto-Lei n.º 178/2003 (GIC)	Em vigor
Directiva E-FRE (2001/77/CE), relativa à promoção da produção de electricidade a partir de fontes renováveis de energia.		39% em 2010
Outros instrumentos	Outros instrumentos de política	Datas
Acordo de Partilha de Responsabilidades (Protocolo Quioto); Programa Europeu para Alterações Climáticas (PEAC) e no seu âmbito Comércio Europeu de Emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE).	Programa Nacional para as Alterações Climáticas	2008-2012
	Plano Nacional de Redução das Emissões das Grandes Instalações de Combustão (GIC)	2008

Anexo M - Medidas de melhoria da qualidade do ar no âmbito dos Planos e Programas para a Região Norte

Tabela M.1: Medidas incluídas no PERN, entidades aderentes e exemplos de acções a implementar.

Medidas	Entidades aderentes	Acções a implementar
Introdução de veículos pesados passageiros com baixas emissões	12 Autarquias; STCP	<ul style="list-style-type: none"> - Abate de antigos e compra de novos; - Instalação de filtros; - Redução das horas de vazio; - Redefinição de percursos, prioridade aos menos poluentes.
Partilha de automóveis	1 Autarquia	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de um sistema de partilha de automóveis; - Dinamização do sistema junto da comunidade escolar; - Criação e distribuição de um manual Carpooler.
Melhoria da rede de transportes públicos	12 Autarquias; Metro do porto	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos e sondagens; - Campanhas de promoção; - Implementação de medidas de prioridade; - Clausulas nos cadernos de encargos dos concursos de prestação de serviços (veículos menos poluentes) - Mais linhas e melhores horários
Renovação da frota RSU	18 Autarquias	<ul style="list-style-type: none"> - Abate de veículos antigos e compra de novos; - Instalação de filtros - Reconversão para biodiesel; - Cláusulas em cadernos de encargos.
Diminuição dos pesados de mercadorias em circulação nos centros urbanos	8 Autarquias	<ul style="list-style-type: none"> - Construção de central periférica de recepção de mercadorias; - Veículos híbridos ou similares na entrada das cidades; - Proibição do trânsito pesados nos períodos: 10h-15h e 17h-24h; - Proibição da circulação de pesados com mais de 20 t.
Reforço da fiscalização do estacionamento ilegal	5 Autarquias; PSP	<ul style="list-style-type: none"> - Reforço da fiscalização; - Campanhas de informação; - Acções de sensibilização.
Zona de emissões reduzidas	2 Autarquias	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de estudos para definição de áreas e condições de aplicação; - Campanhas de informação.
Corte ruas ao trânsito	11 Autarquias	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos de tráfego e qualidade do ar; - Corte de ruas.
Introdução postos abastecimento gás natural	9 Autarquias; STCP	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos técnicos e económicos; - Disponibilização de terrenos; - Aquisição de veículos a gás natural;

Medidas	Entidades aderentes	Acções a implementar
Substituição de despoeiradores	1 Autarquia; AEP	- Acções de sensibilização; - Identificação das indústrias existentes.
Reforço fiscalização fontes industriais	12 Autarquias; SEPNA	- Inventariação de fontes; - Reforço da fiscalização; - Acções de sensibilização.
Redução das emissões da combustão residencial	14 Autarquias; CCDR-N;	- Avaliação técnica e económica - situação existente, estudo de mercado interno e externo; - Identificação de lareiras mais eficientes; - Definição de taxas de discriminação financeira; - Preparação de regulamentos municipais.
Medidas para a agricultura	4 Autarquias; PSP	- Sensibilização, Recomendações e obrigações nos para queimadas; - Reforço da fiscalização de queimadas ilegais.
Varrimento e lavagem de ruas	13 Autarquias	- Reforço de varrimento e lavagem; - Compra de viaturas.
Redução poeiras construção civil	14 Autarquias; CCDR-N; PSP	- Divulgação do manual de boas práticas; - Integração de normas de boas práticas nos cadernos de encargos municipais.
Sensibilização ambiental	19 Autarquias; CCDR-N; AICCOPN; ANTRAM; ANTROP; LIPOR; PSP; Portucel Viana; STCP	- Plano de comunicação da CCDR-N; - Palestras em escolas; - Palestras e desdobráveis sobre condução económica; - Sessões de esclarecimento sobre DL n.º 78/2004; - Folhetos, brochuras, guias e cartazes sobre poluição atmosférica, energia, qualidade do ar; - Programas e notícias em rádios e jornais.

Tabela M.2: Medidas propostas no PMRN mas que ficaram excluídas do PERN.

Medidas
Zonas de circulação taxada nos centros urbanos
Portagens diferenciadas nos centros urbanos
Sistema de placas de matrícula alternadas nos centros urbanos
Imposição de limites de velocidade mais baixos nas zonas mais poluídas
Criação de normas de emissão para aglomerados industriais
Modificação do processo de produção de misturas betuminosas

Anexo N - Escala temporal, eventuais entidades responsáveis, indicadores de monitorização e outros benefícios associados às medidas para melhoria da qualidade do ar na aglomeração de Braga

Tabela N.1: Escala temporal, eventuais entidades responsáveis, indicadores de monitorização e outros benefícios associados às medidas para melhoria da qualidade do ar na aglomeração de Braga.

Medidas	Escala temporal	Principais entidades responsáveis	Indicadores de monitorização	Outros benefícios
Sensibilização ambiental	CP	Câmaras Municipais; CCDR-N	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiais usados nas acções de sensibilização; ▪ Relatórios de diagnóstico das acções. 	CO2: - ruído: - congestionamento: -
Varrimento e lavagem de ruas	CP	Câmaras Municipais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Documentos evidenciando a concretização da aquisição de meios mecânicos e contratação de recursos humanos; ▪ Relatórios anuais de lavagem/varredura; ▪ Mapas com localização das vias afectas. 	CO2: - ruído: - congestionamento: -
Reforço da fiscalização de fontes industriais	CP-MP	CCDR-N; SEPNA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de unidades industriais fiscalizadas no triénio 2009-2011; ▪ Número de unidades que passaram a cumprir VLE. 	CO2: - ruído: - congestionamento: -
Redução da emissão de poeiras na construção civil	CP	Câmaras Municipais; CCDR-N; AICCOPN	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Regulamentos Municipais de Urbanização e Edificação alterados; ▪ Cópias das componentes dos cadernos de encargos com as exigências. 	CO2: - ruído: - congestionamento: -

Medidas	Escala temporal	Principais entidades responsáveis	Indicadores de monitorização	Outros benefícios
Partilha de automóveis	MP	Câmaras municipais; CCDR-N	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Número de acções de sensibilização; ▪ Exemplares do manual, dos folhetos de sensibilização e de reportagens alusivas ao assunto 	CO2: ↓ ruído: ↓ congestionamento: ↓
Melhoria da rede de transportes públicos	MP	Câmaras municipais; TUB-EM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Comprovativos e relatórios relativos ao nível de satisfação do público e da utilização dos mesmos (variação nas taxas de ocupação), após melhoria; ▪ Relatórios sobre a evolução e avaliação das melhorias na mobilidade; ▪ Mapas, registos fotográficos, resultados de estudos, acções e documentos produzidos; 	CO2: ↓ ruído: ↓ congestionamento: ↓
Redução emissões combustão residencial	LP	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaboração da norma: IPQ ▪ Elaboração da regulamentação que torne obrigatória a certificação de novos equipamentos de combustão residencial: MAOTDR, MOPTC; ▪ Inclusão de obrigações em regulamentos municipais: Câmaras Municipais 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ N.º de equipamentos de combustão residencial certificados anualmente; ▪ N.º de equipamentos de combustão residencial antigos substituídos por equipamentos certificados anualmente; ▪ Regulamento Municipal de Edificação e Urbanização com as alterações; 	CO2: ↓ ruído: - congestionamento: -

Medidas	Escala temporal	Principais entidades responsáveis	Indicadores de monitorização	Outros benefícios
Redução das emissões dos veículos pesados de mercadorias	MP	Programa Operacional dos Factores de Competitividade; IMTT; Câmaras municipais; ANTRAM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ N.º total de veículos Euro V adquiridos com co-financiamento do Sistema de Incentivos à Qualificação e Internacionalização de pequenas e médias empresas (PME); ▪ N.º de filtros de partículas instalados com co-financiamento do Sistema de Incentivos à Qualificação e Internacionalização de PME; ▪ Emissões dos veículos antes da instalação do filtro de partículas e após a sua instalação; ▪ km percorridos pelos veículos equipados com filtros de partículas; ▪ Consumo de combustível dos veículos após instalação dos filtros de partículas; ▪ Consumo de aditivo. 	CO2:↓ ruído: - congestionamento: -
Renovação da frota RSU	MP	Câmaras Municipais; AGERE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ N.º total de veículos Euro V adquiridos; ▪ N.º de filtros de partículas instalados; ▪ Emissões dos veículos antes da instalação de filtros de partículas e após a sua instalação; ▪ km percorridos pelos veículos equipados com filtros de partículas; ▪ Consumo de combustível dos veículos após instalação dos filtros de partículas; ▪ Consumo de aditivo. 	CO2:↓ ruído:↓ congestionamento: -
Renovação da frota de pesados de passageiros	MP	IMTT; ANTROP; Câmaras Municipais; TUB-EM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ N.º de autocarros novos apoiados; ▪ Evolução da idade da frota de pesados de passageiros; 	CO2:↓ ruído: ↓ congestionamento: -
Diminuição de pesados de mercadorias em circulação	MP-LP	Câmaras municipais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resultados de estudos; mapas; registos fotográficos; avaliações da qualidade do ar 	CO2:↓ ruído:↓ congestionamento:↓

Medidas	Escala temporal	Principais entidades responsáveis	Indicadores de monitorização	Outros benefícios
VAO	LP	InIR; CCDD -N; concessionárias de auto-estradas; TUB-EM; IMTT; PSP e/ou GNR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tráfego Médio Diário em circulação nos eixos onde serão instaladas nas VAO; ▪ Taxa de ocupação média das viaturas em circulação nestas vias vs. taxa de ocupação média das viaturas nas restantes vias; ▪ Frequência de autocarros nos eixos onde serão instaladas as VAO; ▪ Velocidade comercial dos autocarros nas VAO; ▪ N.º de coimas ou multas aplicadas por infracções nas VAO; ▪ Extensão dos corredores VAO; ▪ % de transferência modal do TI para o TC; ▪ % transferência modal do TI (1 ocupante) e TI (2 ou + ocupantes). 	CO2: ↓ Ruído: ↓ Congestionamento: ↓